

Aus dem Med. Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
(Geschäftsführender Direktor: Professor Dr. R. Frankenberger)
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

**Das ICDAS-II-System der Kariesdiagnose:
Eine In-vitro-Studie zur Korrelation von Histologie und
Röntgenaufnahmen bei Anwendung digitaler Medien**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt

von
Regina Maschka
aus Aalen

Marburg, 2013

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität
Marburg am: 14.05.2013

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. M. Rothmund

Referent: Prof. Dr. A. Jablonski-Momeni

Korreferent: Prof. Dr. M. Gente

”Wir haben Pionierarbeit zu leisten und nichts außerdem.

Ob die Menschheit den Weg zu gehen versteht,
den wir ihr bahnen, ist ihre Sache,
nicht die unsrige.”

(F. Dürrenmatt, Die Physiker)

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	8
1 Einleitung	10
2 Literaturübersicht	11
2.1 Fissurenkaries	11
2.2 Pathogenese und Risikofaktoren	12
2.3 Histopathologie	15
2.3.1 Schmelzkaries	15
2.3.2 Dentinkaries	16
2.4 Epidemiologie	17
2.4.1 Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland	18
2.4.2 Mundgesundheitsziele für Deutschland für das Jahr 2020 . . .	19
2.5 Klassifikationssysteme	19
2.5.1 ICDAS-II	20
2.6 Methoden der okklusalen Kariesdetektion	21
2.6.1 Klinisch visuell-taktile Diagnostik	22
2.6.2 Laserfluoreszenzmessung	24
2.6.3 Faseroptischer Transillumination	28
2.6.4 Radiographie	29
2.6.5 Histologie	30
2.6.6 Transversale Mikroradiographie	31
3 Zielsetzung	32
4 Material und Methode	33
4.1 Versuchsdesign	33
4.2 Durchführung der Studie	34
4.3 Material	37
4.3.1 Zahnauswahl	37
4.3.2 Kodierung der Prü fzähne	37
4.4 Methode	38
4.4.1 Radiographie	38
4.4.2 Konventionelle Radiographie	38
4.4.3 Digitale Radiographie	38
4.4.4 Digitalisierte konventionelle Radiographie	39
4.4.5 Herstellung der Dünnschliffpräparate	39

4.4.6	Zuordnung der Hartschnitte zu den Messpunkten	43
4.4.7	Digitale makrofotografische Reproduktion und Image Processing der Hartschnitte	44
4.5	Untersuchung	46
4.5.1	Randomisierung	46
4.5.2	Beurteilung der Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit	46
4.5.3	Untersuchungskriterien	46
4.5.4	Befundung der konventionell hergestellten Röntgenbilder	48
4.5.5	Befundung der digital hergestellten Röntgenbilder	48
4.5.6	Befundung der digitalisierten konventionellen Röntgenbilder	48
4.5.7	Befundung der Dünnschliffpräparate	49
4.5.8	Befundung der digitalen histologischen Makrofotografie	49
4.6	Dokumentation	50
4.7	Statistische Auswertung	50
4.7.1	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman	50
4.7.2	Bestimmung der Intra- und Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit	51
4.7.3	Effektstärke	51
5	Ergebnisse	52
5.1	Verteilung der Kariesstufen nach International Caries Detection and Assessment System II (ICDAS-II)	52
5.2	Verteilung der verschiedenen Verfahren in Bezug zur Kariesstufenverteilung des ICDAS-II-Konsens	52
5.2.1	Verteilung der Befunde der analogen Zahnfilme in Bezug zum ICDAS-II	53
5.2.2	Verteilung der Befunde der digitalen Zahnfilme in Bezug zum ICDAS-II	54
5.2.3	Verteilung der Befunde der analog digitalen Zahnfilme in Bezug zum ICDAS-II	55
5.2.4	Verteilung der histologischen Befunde am Makroskop in Bezug zum ICDAS-II	57
5.2.5	Verteilung der Befunde der digitalfotografischen Reproduktion am Monitor in Bezug zum ICDAS-II	59
5.3	Röntgenologische Erfassung der okklusalen Karies	62
5.3.1	Vergleich der Kariesverteilung zwischen den analogen und den digitalen Röntgenbefunden	62

5.3.2	Vergleich der Kariesverteilung zwischen den analogen und den analog digitalen Röntgenbefunden	63
5.3.3	Vergleich der Kariesverteilung zwischen den digitalen und den analog digitalen Röntgenbefunden	63
5.4	Histologische Erfassung der okklusalen Karies	63
5.4.1	Vergleich zwischen der direkten Makroskopie und der Bewertung der digitalfotografischen Reproduktion, beurteilt nach Downer	64
5.4.2	Vergleich zwischen der direkten Makroskopie und der Bewertung der digitalfotografischen Reproduktion, beurteilt nach Ekstrand et al.	64
5.4.3	Vergleich der direkten Makroskopie beurteilt nach Downer versus Ekstrand et al.	65
5.4.4	Vergleich digitalfotografische Reproduktion, beurteilt nach Downer versus Ekstrand et al.	65
5.5	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman der einzelnen Verfahren .	66
5.6	Kappa-Werte und Effektstärken	67
6	Diskussion	70
6.1	Diskussion der Radiographie	70
6.1.1	Übereinstimmung der Radiographie zum ICDAS-II	71
6.1.2	Korrelation der röntgenologischen Diagnosen	73
6.2	Diskussion der Histologie	74
6.2.1	Übereinstimmung der Histologie zum ICDAS-II	76
6.2.2	Korrelation der histologischen Diagnosen	78
6.2.3	Reliabilität der Untersucher	79
6.3	Schlussfolgerung	82
7	Zusammenfassung	83
7.1	Abstract	84
8	Literaturverzeichnis	86
A	Abbildungsverzeichnis	98
B	Tabellenverzeichnis	99
C	Anhang	102
C.1	Materialliste	102

C.2	Geräteliste	103
C.3	Befundbögen	104
C.4	Schneideprotokolle	106
D	Verzeichnis der akademischen Lehrer	108
E	Danksagung	109

Abkürzungsverzeichnis

BMP	Bitmap
CAPP	Country/Area Profile Programme
CCD	Charge Coupling Devices
DAJ	Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege
FDI	World Dental Federation
GtfB	Glycosyltransferase B
GtfC	Glycosyltransferase C
Gtfs	Glycosyltransferasen
Hist_Di_Downer	digitalisierte Histologie nach Downer (1975)
Hist_Di_Downer_A	Befunde der digitalisierten Histologie nach Downer (1975) für Untersucher A
Hist_Di_Downer_B	Befunde der digitalisierten Histologie nach Downer (1975) für Untersucher B
Hist_Di_ERK	digitalisierte Histologie nach Ekstrand et al. (1997)
Hist_Di_ERK_A	Befunde der digitalisierten Histologie nach Ekstrand et al. (1997) für Untersucher A
Hist_Di_ERK_B	Befunde der digitalisierten Histologie nach Ekstrand et al. (1997) für Untersucher B
Hist_Ma_Downer	Histologie nach Downer (1975)
Hist_Ma_Downer_A	histologische Befunde am Makroskop nach Downer (1975) für Untersucher A
Hist_Ma_Downer_B	histologische Befunde am Makroskop nach Downer (1975) für Untersucher B
Hist_Ma_ERK	Histologie nach Ekstrand et al. (1997)
Hist_Ma_ERK_A	histologische Befunde am Makroskop nach Ekstrand et al. (1997) für Untersucher A

Hist_Ma_ERK_B	histologische Befunde am Makroskop nach Ekstrand et al. (1997) für Untersucher B
IADR	International Association of Dental Research
ICDAS-II	International Caries Detection and Assessment System II
JPEG	Joint Photographic Experts Group
KI	Konfidenzintervall
MPixel	Megapixel
QLF	Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz
Rö_ana	Röntgen analog
Rö_ana_A	analoge röntgenologische Befunde für Untersucher A
Rö_ana_B	analoge röntgenologische Befunde für Untersucher B
Rö_andi	Röntgen analog-digital
Rö_andi_A	analog digitale röntgenologische Befunde für Untersucher A
Rö_andi_B	analog digitale röntgenologische Befunde für Untersucher B
Rö_digi	Röntgen digital
Rö_digi_A	digitale röntgenologische Befunde für Untersucher A
Rö_digi_B	digitale röntgenologische Befunde für Untersucher B
r_s	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman
S. mutans	Streptokokkus mutans
SPSS	Statistical Package of the Social Sciences
UniViSS	Universal Visual Scoring System
vs.	versus
WHO	Weltgesundheitsorganisation

1 Einleitung

Eine exakte und zuverlässige Kariesdetektion ist die Grundvoraussetzung für die Einleitung einer adäquaten Therapie. Es ist daher notwendig, Krankheitsstadien mithilfe von zahnmedizinischen Klassifikationssystemen zu erfassen und zu beschreiben. Inzwischen existieren in der Zahnheilkunde zahlreiche Kariesdiagnosesysteme. Diese müssen einer kontinuierlichen Weiterentwicklung zugänglich sein, sobald sich neue Erkenntnisse in der Wissenschaft ergeben. Bedingt sind diese Weiterentwicklungen durch ein intensiviertes Kariesmonitoring und -management, sowie eine zunehmend differenziertere minimalinvasivere Intervention und durch neue praktikable Diagnosemethoden, die die Aktivität und den Progressionsgrad kariöser Läsionen detektieren. Die Verschlüsselung der Diagnosen bietet dem Behandler eine Vereinfachung und Erleichterung der notwendigen Dokumentation. Unerlässlich ist eine klare, eindeutige Diagnose für die Kommunikation zwischen den in den Behandlungsprozess einbezogen Ärzten, den Patienten, sowie bei der schriftlichen Korrespondenz mit den Kostenträgern.

Ein von internationalen Wissenschaftlern entwickeltes und 2005 modifiziertes aktuelles Klassifikationssystem zur visuellen Kariesdiagnostik, das International Caries Detection and Assessment System II (ICDAS-II), welches als standardisierte Methode für den Einsatz in der Lehre, in der zahnärztlichen Praxis und in epidemiologischen Studien vorgesehen ist, umfasst eine differenzierte siebenstufige Gliederung für die Diagnoseverschlüsselung der okklusalen Karies (Code 0-6) (Pitts, 2004). Damit ist es dem Untersucher möglich, initiale und manifeste kariöse Läsionen visuell zu erfassen und zu definieren. Diese feine Differenzierung der kariösen Läsionen ist angesichts des Rückgangs der Kariesprävalenz (Pieper, 2005, 2010) und der Verschiebung der Tiefenausdehnung kariöser Läsionen in Richtung Schmelzkaries (Heinrich-Weltzien et al., 2003) notwendig. Die Eignung des ICDAS-II Systems für den Einsatz in Multicenter-Studien muss aufgrund der zunehmenden räumlichen Distanz der partizipierenden Studienzentren hinsichtlich der Verwendung digitaler Histologie noch untersucht werden.

2 Literaturübersicht

2.1 Fissurenkaries

Fissuren entstehen an den Grenzflächen amelogenetischer Entwicklungszentren im Höckerbereich der Molaren und Prämolaren. Die okklusalen benachbarten Schmelzbildungszentren beginnen miteinander zu verschmelzen und bilden in diesem Bereich eine Furche aus, deren Tiefe und Breite durch den Abstand dieser Zentren und der Schmelzdicke im Höckerbereich festgelegt wird. Am Fundus kommt es zu einer Stauchung und Stauung der Ameloblasten, die dadurch ihre sekretorische Funktion einstellen. Die Schmelzbildung schreitet jedoch an den Höckerabhängen weiter voran und führt somit zu einer kontinuierlichen Annäherung der Abhänge (Schroeder, 2000).

Je nach genetischer Veranlagung entstehen anatomisch unterschiedlich ausgeprägte Varianten der Furchen. Nach Kreter und Pantke (1979) werden diese Varianten als mulden-, spalt-, v-, oder ampullenförmige Fissuren definiert. Nagano differenziert 1961 ebenfalls vier anatomische Grundformen der Fissur (Klimm, 1997).

Tabelle 2.1: Unterschiede im Fissurenrelief (Schroeder, 2000)

Breite	6-180 μm
okklusaler Eingangswinkel	35-100 Grad
Schmelzdicke im Fissurengrund	110-1440 μm
Tiefe	40-1220 μm

Bei einigen Fissurentypen ist eine ausreichende mechanische Reinigung des Fissurfundus nicht möglich, und es kann dort zu einer Akkumulation von Plaque und Speiseresten kommen (Ekstrand et al., 1998). So findet sich eine höhere Inzidenz in I-förmigen Fissurentypen (Zandoná et al., 1998). Lussi und Schaffner (2002) zeigten anhand von Schliffpräparaten, dass eine mechanische Reinigung der Fissuren durch eine Zahnbürste nur bei ungefähr der Hälfte der verwendeten Präparate erfolgreich durchgeführt werden konnte. Die dabei untersuchten Fissuren wiesen in 20 Prozent der Fälle weite und in 30 Prozent sehr enge Fissurenreliefs auf.

Die durch mangelnde Reinigung entstandenen Ablagerungen des Biofilms in den Fissuren und die dadurch gesteigerte Stoffwechselaktivität der Bakterien des oralen Biofilms führen zu einem Ionenaustausch mit der Zahnhartsubstanz, der als Ursache für die Ausbildung kariöser Entkalkungen angesehen wird (Allais, 2008a). Des Weiteren wird angenommen, dass eine geringe Schmelzdicke im Fissurengrund und die Nähe des Fissurengrundes zur Schmelz-Dentin-Grenze ein rasches Vordringen

und ein unterminierendes Ausbreiten initialer kariöser Läsionen begünstigt (Hellwig et al., 2009). Laut Juhl (1983) beginnt der kariöse Prozess beidseitig unterhalb des verengten Fissureneingangs und greift später auf die Tiefe der Fissur über (Schroeder, 1997).

2.2 Pathogenese und Risikofaktoren

Die auf der Zahnoberfläche haftende dentale Plaque beinhaltet verschiedene Mikroorganismen. Einigen von ihnen, zum Beispiel *Streptokokkus mutans* (*S. mutans*), *Streptokokkus sobrinus* und Laktobazillen konnte eine kariogene Wirkung nachgewiesen werden (Emilson und Krasse, 1985; Selwitz et al., 2007).

Diese endogenen Bakterien metabolisieren die mit der Nahrung aufgenommenen Kohlenhydrate. Dabei entstehen als Nebenprodukte organische Säuren, die einen pH-Abfall innerhalb des dentalen Biofilms verursachen. Dadurch werden Calcium- und Phosphationen aus den dentalen Calciumphosphatkristallen herausgelöst. Wenn die Frequenz dieses als Demineralisation bezeichneten Prozesses steigt und es zu keiner natürlichen Regeneration durch protektive Faktoren kommt, schreitet die lokale Destruktion des Schmelzgewebes weiter voran mit dem Resultat der Ausbildung einer Kavitation (Schroeder, 1997; Bratthall et al., 2006; Selwitz et al., 2007).

Bakterien und ihre Toxine können nun durch die entkalkte Schmelzläsion bis zur Schmelz-Dentin-Grenze vordringen. Das im Dentin enthaltene zelluläre Abwehrsystem wird aktiviert, und es kommt zu einer intra- und peritubulären mineralischen Abdichtung der Dentinkanälchen und zur Tertiärdentinausbildung. Schreitet der kariöse Angriff weiter voran, wird auch das Dentin entkalkt und proteolytisch aufgeweicht (Klimm, 1997; Schroeder, 1997).

Folglich ist Karies als Ergebnis einer Verschiebung des Gleichgewichts im Biofilm zu verstehen (Fejerskov, 2004). PH-Wertmessungen haben für den Schmelz einen kritischen Wert von 5,5 ergeben. Kariöse Defekte im Dentin weisen in aktiven Läsionen pH-Werte zwischen 4,0 bis 5,4 auf. Bei inaktiven Dentinläsionen liegen die pH-Werte zwischen 5,5 bis 6,9 (Ekstrand et al., 1998).

Diese pH-Wert-Änderungen resultieren aus dem höheren azidogen und aziduren Potential von *S. mutans*, Laktobazillen und Bifidobakterien. Im Verlauf des Krankheitsprozesses verändert sich die Mikroflora auf der Zahnoberfläche. So konnte eine Dominanz von non-mutans Streptokokken in white spot Läsionen nachgewiesen werden. In kavitierten Dentinläsionen dominieren hingegen *S. mutans*, Laktobazillen und Bifidobakterien. Mit fallendem pH-Wert steigt die Wachstumsrate von *S. mutans* und Laktobazillus an (Takahashi und Nyvad, 2011).

Lima et al. (2011) konnten in drei unterschiedlichen Tiefen einer kariösen Läsion

keinen für die jeweilige Tiefe spezifischen Bakterienstamm identifizieren.

Die Ausstattung mit bestimmten Enzymen von *S. mutans* scheint eine Rolle für die Ausbildung des oralen Biofilm zu spielen. So konnten Wunder und Bowen eine Mutante generieren, welche ausschließlich die Glycosyltransferase C (GtfC) exprimierte. Diese wies ein geringeres kariogenes Potential auf. Darüber hinaus scheint die Glycosyltransferase B (GtfB) für die Bildung von *S. mutans* Mikrokolonien verantwortlich zu sein. Folglich stellt das Expressionsmuster der Glycosyltransferasen (Gtfs) einen Virulenzfaktor von *S. mutans* dar (Bowen und Koo, 2011).

Fejerskov (2004) definiert Karies als eine komplexe und multifaktorielle Krankheit, die durch das Einwirken vieler unterschiedlicher, teils genetischer, teils umweltbedingter, sowie sozioökonomischer und behavioraler Risikofaktoren bestimmt wird.

In der schematischen Abbildung 2.1 sind die Risikofaktoren, die zu einer kariösen Läsion führen können, dargestellt.

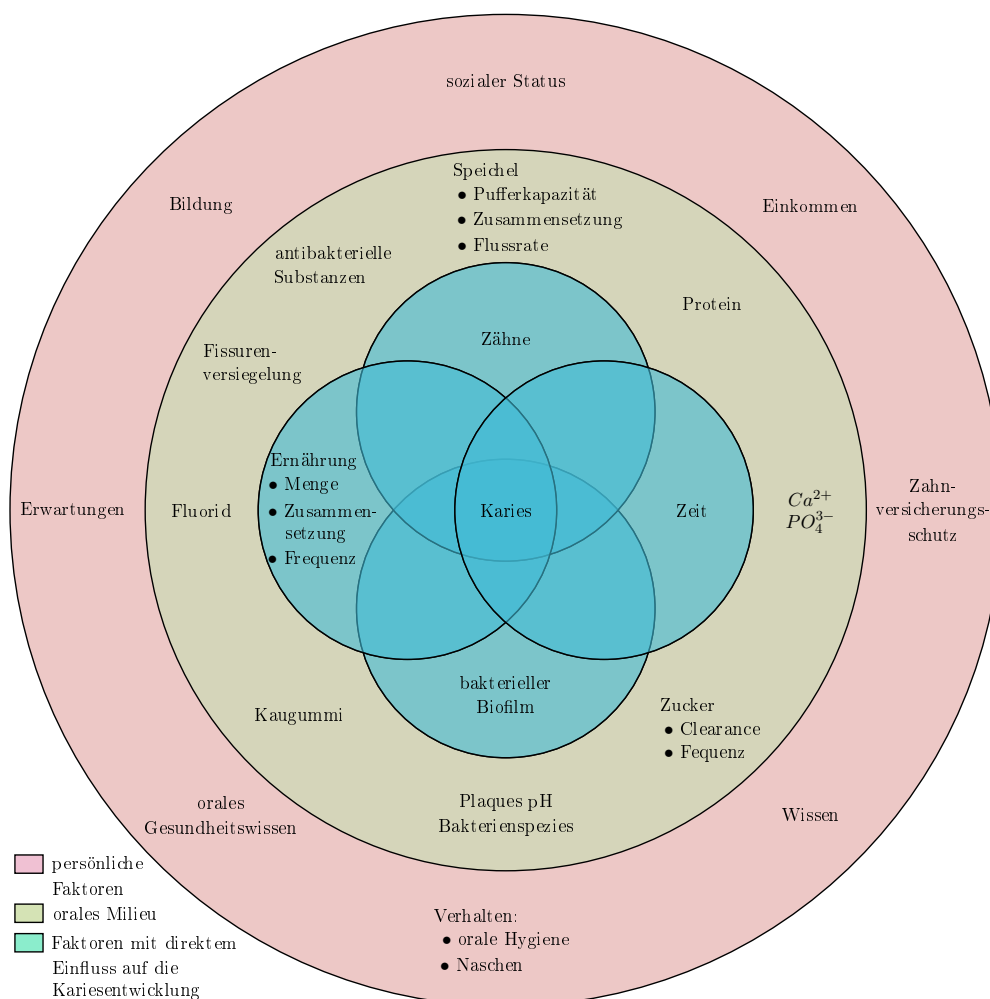


Abbildung 2.1: Faktoren für die Entstehung einer Karies (modifiziert nach der Vorlage von Fejerskov und Manji (1990) (Selwitz et al., 2007))

Cook et al. (2008) beschrieben in einer in Mexiko durchgeführten Studie einen Zusammenhang zwischen Trinkgewohnheiten, Zuckerkonsum und Karies. Dabei bestätigte sich ein Anstieg des Kariesrisikos in Abhängigkeit von der Exposition der Probanden gegenüber Softgetränken mit hohem Zuckeranteil. Außerdem konnte an Milchzähnen eine Zunahme des kariösen Schweregrades bei gesteigertem Konsum von Säften festgestellt werden. Jedoch konnte in dieser Studie kein Zusammenhang zwischen sozioökonomischem Status und kariösem Schweregrad nachgewiesen werden.

Reisine und Psoter (2001) zeigten hingegen, dass ein geringer sozioökonomischer Status das Kariesrisiko beeinflusst und erhöht.

Eine Kohortenstudie (Poulton et al., 2002) an 1000 Erwachsenen in Neuseeland zeigte, dass diejenigen, die während ihrer Kindheit in Familien mit einem geringem sozioökonomischen Status aufwuchsen, ein gehäuftes Auftreten kariöser und parodontaler Erkrankungen aufwiesen und darüber hinaus über einen schlechten kardiovaskulären Gesundheitszustand verfügten, als diejenigen, die in Familien mit mittlerem oder hohem sozioökonomischen Status aufwuchsen (Selwitz et al., 2007). Das von Wright (2010) veröffentlichte Editorial zielt auf neue Aspekte der Kariesforschung ab, welche einen möglichen Zusammenhang zwischen Mutationen in Geschmacksrezeptoren und der Ausbildung kariöser Läsionen sehen. So konnten bestimmte Allele des TAS2R38-Rezeptors mit einer Karies protektiven Wirkung im Milchgebiss korreliert werden (Wendell et al., 2010). Die Rolle der gustatorischen Empfindlichkeit im Zusammenhang mit der Fähigkeit der süßen Geschmackswahrnehmung als Risikofaktor bei der Entwicklung kariöser Läsionen wurde von einer Vielzahl von Untersuchern bewertet. Diese Studien zeigten, dass Probanden, welche über eine geringere Geschmackswahrnehmung verfügen, ein höheres dentales Kariesrisiko haben, als Individuen mit einer ausgeprägten Geschmacksempfindlichkeit (Catalanotto et al., 1979; Lin, 2003; Rupesh und Nayak, 2006). Um diese Sachverhalte zu klären, müssen in Zukunft Multicenter-Studien durchgeführt werden, welche sich neuerer genetischer Untersuchungsmethoden, wie genomweiten Assoziationsuntersuchungen, bedienen (Wright, 2010).

2.3 Histopathologie

Die in einen allgemeinen und speziellen Bereich untergliederte Histologie ist die Lehre vom mikroskopischen Aufbau der Gewebe. Die Histopathologie befasst sich mit krankhaften organischen Gewebsveränderungen (Pschyrembel, 2002). Zur Befundung dieser Gewebe werden im allgemeinen kombinierte Durchlicht- und Auflichtmikroskope verwendet. Die meisten histologischen Techniken sind standardisierte Verfahren und beruhen auf bestimmten Grundprinzipien der Gewebeaufbereitung und Weiterverarbeitung (von Bohlen et al., 1999).

2.3.1 Schmelzkaries

Histopathologisch gliedert sich die Schmelzkaries mit noch intakter Oberfläche in vier eindeutig unterschiedliche Zonen:

1. die transluzente Zone
2. die dunkle Zone
3. die Zone des Zentrums der Läsion
4. die Zone der intakten Oberflächenschicht

Weitet sich der kariöse Prozess über die Schmelz-Dentin-Grenze aus, kommt es zu einer spontanen Destruktion der intakten Oberfläche, und es entsteht die Zone des Kavitationsdefektes (Schroeder, 1997). Die Zonen 1 und 3 können als Ergebnis von Demineralisationsvorgängen verstanden werden, während die Veränderungen in den Zonen 2 und 4 auf Remineralisationsprozesse zurückzuführen sind (Schroeder, 1997). Die einzelnen Zonen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Mineralverlustes, der Porengröße und des Porenvolumens (Klimm, 1997).

Tabelle 2.2: Merkmale der Schmelzkarieszonen (Klimm, 1997; Schroeder, 1997)

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Porenvolumen	$\leq 1\%$	2-4%	peripher: 5% zentral: 25%	$<5\%$
Mineralverlust (in Volumen%)	1,2	6	25	<5
Kristalliten-Ø	25-30 nm	50-100 nm	10-30 nm	40-80 nm

Die säurebedingte Demineralisation führt im Schmelzinneren zu einer Erweiterung der interprismatischen und interkristallinen Räume, einer superfizialen Erosion entlang der Perikymatien und zu einer Auflösung des Prismenstabzentrums. Dadurch

wird die Schmelzstruktur porös und es entstehen Bereiche, die eine geringe optische Dichte aufweisen (Schroeder, 1997). Die veränderte optische Dichte beeinflusst den Brechungsindex des Schmelzes. Je geringer die Dichte, desto kleiner wird der Brechungsindex. Gesunder Schmelz weist einen Brechungsindex von 1,62 auf. Der Brechungsindex von Luft beträgt 1, der von Wasser beträgt den Wert 1,33. Ab einem Porenvolumen von mehr als 5% erscheint eine initiale Schmelzläsion weißlich-opak, sobald das in den Mikroporen befindliche Wasser durch Lufttrocknung entfernt wurde (Schroeder, 1997; Allais, 2008b).

2.3.2 Dentinkaries

Das Dentin im Kronenbereich gliedert sich in das schmelzangrenzende 30 μm breite, geringer mineralisierte Manteldentin, das dominierende zirkumpulpale Dentin und das nicht verkalkte Prädentin. Im Manteldentin enden die Fortsätze der Odontoblasten. Die kollagenen Fasern verlaufen dort senkrecht zur Schmelz-Dentin-Grenze. Diese Besonderheiten des Manteldentins ebnen der bakteriellen kariösen Invasion den Weg und führen in diesem Bereich zu einer flächenhaften unterminierenden Demineralisation. Weitert sich die kariöse Läsion in Richtung Pulpa aus, ändert sich die Form der flächenhaften Ausbreitung und verläuft kegelförmig penetrierend entlang der S-förmig geschwungenen Dentinkanälchen (Steininger et al., 2010).

Nach Schroeder lassen sich histopathologisch folgende Zonen der Dentinkaries unterscheiden (Schroeder, 1997):

1. die Zone der Nekrose

- Das Dentin ist nekrotisch verflüssigt. Es enthält ungefähr 10^8 Bakterien pro Gewebegramm, proteolytische Enzyme, sIgA, IgG, IgM und C3 des Komplementsystems.

2. die Zone der Penetration

- Ungleichmäßig schnelles Eindringen der Bakterien (etwa 10^5 Bakterien pro Gewebegramm) in die Dentintubuli, die dortige Akkumulation der Bakterien und deren Nebenprodukte führen zu einer intratubulären Druckerhöhung und einer damit verbundenen tubulären ampullen- oder rosenkranzförmigen Ausweitung.

3. die Zone der Demineralisation

- Mikrobielle Säuren azidogener und azidurer Laktobazillen und anaerober pleomorpher Stäbchen entkalken das Dentin.

4. die dead-tract Zone

- In diesem Abschnitt existieren keine vitalen Odontoblastenfortsätze in den Dentinkanälchen mehr. Diese Zone weist eine höhere Permeabilität für die bakterielle Besiedlung auf als normales Dentin.

5. die Zone des sklerotischen Dentins

- Die Dentintubuli sind durch eine verstärkte peritubuläre Dentinbildung, durch die Mineralisation der periodontoblastischen Matrix, des Kollagens und der Odontoblastenfortsätze obliteriert.

6. die Zone des normalen Dentins

- In dieser Zone sind intakte Odontoblastenfortsätzen enthalten.

7. die Zone des Tertiärdentins

- Je nach Schweregrad der Pulpairritation erscheint das Reizdentin atypischer, kanalärmer und fibrodentinartiger.

2.4 Epidemiologie

Die Karies gehört zu den häufigsten Infektionskrankheiten des Menschen weltweit. Epidemiologische Daten aus nahezu 200 Ländern der Welt sind in der Country/Area Profile Programme (CAPP) Datenbank der Weltgesundheitsorganisation (WHO) verfügbar (Bratthall et al., 2006). 1981 formulierten die WHO und die World Dental Federation (FDI) Ziele für die orale Gesundheit, welche bis zum Jahr 2000 verwirklicht sein sollten. Dabei sollte erreicht werden, dass 50% der 5 bis 6-Jährigen kariesfrei sind, der globale durchschnittliche DMFT bei den 12-Jährigen nicht mehr als 3 beträgt und 85% der Bevölkerung im Alter von 18 Jahren ein vollständiges und lückenloses Gebiss aufweisen können (Peterson, 2003). Bereits 2001 erreichten 70% der in der CAPP Datenbank registrierten Länder einen DMFT kleiner gleich drei in der Gruppe der 12-Jährigen (Bratthall et al., 2006). In Zusammenarbeit von WHO, FDI und International Association of Dental Research (IADR) konnten neue globale Gesundheitsziele für den Zeitraum bis zum Jahr 2020 erarbeitet werden (Peterson, 2003).

Da eine Häufung kariöser Läsionen in dem Zeitraum nach dem Durchbruch der ersten Dentition sowie der bleibenden Molaren zu erkennen ist, empfiehlt die WHO, Daten für die 5 bis 6-, die 12,- und die 15-Jährigen zu ermitteln. Dabei eignet sich besonders die Gruppe der 12-Jährigen. Diese Zielgruppe kann über die Schulen gut

erreicht werden und liefert somit für internationale Vergleiche einfach zu erhebende Daten (Bratthall et al., 2006; Schiffner et al., 2010).

Heinrich-Weltzien weist auf eine deutliche Veränderung des kariösen Befallsmusters bei Kindern und Jugendlichen mit einem verstärkten Auftreten kariöser Defekte an den Molaren hin. Dabei sind die okklusalen Flächen am häufigsten betroffen (Selwitz et al., 2007). Je nach Alter der Probanden konnten zwischen 50% und 85% des gesamten kariösen Befalls dem Fissuren- und Grübchenbereichen zugeordnet werden (Heinrich-Weltzien et al., 1997, 2003). Diese Flächen sind laut der Leitlinie Fissuren- und Grübchenversiegelung aus dem Jahr 2010 bis zum 13./14. Lebensjahr sogar zu einem Anteil von 60% bis 90% betroffen (Kühnisch et al., 2010).

2.4.1 Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland

Aus der aktuellen DAJ-Studie aus dem Jahr 2009 geht hervor, dass trotz eines erkennbaren Kariesrückgangs 46,1% der Schulanfänger kariöse Läsionen aufweisen. Die Hälfte der kariösen Läsionen in der Gruppe der 6- bis 7-Jährigen entsteht jedoch in den ersten drei Lebensjahren. Insgesamt betrug die Kariesreduktion in dem Zeitraum von 1994 bis 2009 in dieser Gruppe 35,3%. In den Gruppen der 12- und 15-Jährigen zeichnet sich ebenfalls eine Verringerung der Karieserfahrung ab (Brauckhoff et al., 2009; Pieper, 2010).



Abbildung 2.2: Mittlerer Kariesbefall bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland im Zeitverlauf von 1994 bis 2009, modifiziert nach Pieper (2010), (k.A. = keine Angaben)

2.4.2 Mundgesundheitsziele für Deutschland für das Jahr 2020

Auf der Grundlage der bis 2020 zu erreichenden globalen Gesundheitsziele konnten 2004 in Zusammenarbeit von Bundeszahnärztekammer und Wissenschaftlern neue gemeinsame Ziele für die Mundgesundheit in Deutschland bis zum Jahr 2020 aufgestellt werden (Ziller et al., 2006). Für Zahnhartsubstanzdefekte sollen dabei folgende Ziele bis zum Jahr 2020 verwirklicht werden (Ziller et al., 2006):

1. Nicht weniger als 80% der 6-Jährigen sollen bis zum Jahr 2020 ein kariesfreies Gebiss aufweisen.
2. Die Gruppe der 12-Jährigen soll bis zum Jahr 2020 einen DMFT-Index kleiner gleich eins aufweisen. Außerdem soll der Anteil der Gruppe der 12-Jährigen, die über einen hohen Kariesbefall verfügen (DMFT-Index größer 2), halbiert werden.
3. In der Gruppe der 35- bis 44-Jährigen soll der durchschnittliche M-T Wert auf drei reduziert werden.

2.5 Klassifikationssysteme

In den letzten 100 Jahren wurden erhebliche Fortschritte bei der Reduzierung der Kariesprävalenz gemacht. Die wissenschaftlichen und technologischen Entwicklungen haben in dieser Zeit die Art und Weise der Kariesbehandlung verändert. Zahlreiche Klassifikationssysteme zur Kariesdetektion wurden entwickelt (vgl. Ismail (2004)). So bedient sich beispielsweise das Nyvad System einer sechsstufigen Skala und berücksichtigt dabei aktive (Score 1 bis 3) und inaktive (Score 4-6) Läsionen. So wird eine invasive Behandlung bei aktiven kariösen Kavitäten vorgeschlagen (Score 3). Bei aktiven nichtkavitierten Läsionen (Score 1 und 2) werden präventive Maßnahmen vorgeschlagen. Inaktive Läsionen (Score 4 bis 6) bedürfen keiner Therapie (Nyvad et al., 1999).

Ein System, welches hauptsächlich auf den WHO Richtlinien (WHO, 1997), den Kriterien von Ekstrand et al. (1998) und Nyvad et al. (1999) sowie der systematischen Übersichtsarbeit von Ismail (2004) über die visuellen Detektionssysteme und den ICDAS-Kriterien (ICDAS Coordinating Committee, 2005) beruht, bedient sich ebenfalls der Unterscheidung in aktive und inaktive Läsionen. Dabei geht das Universal Visual Scoring System (UniViSS) in einem dreistufigen Verfahren vor. Zunächst erfolgt die Schweregradbeurteilung. Anschließend folgt die Verfärbungsbeurteilung. Im letzten Schritt wird die Aktivitätseinschätzung vorgenommen. Das System bedient sich der bereits klinisch akzeptierten und validierten

Kriterien, wie weißen und braunen Opazitäten, Mikrokavitäten, Schmelzeinbrüchen und grauen Transluzenzen (Kühnisch et al., 2009).

Ismail verglich in einer Übersichtsarbeit klinische Kariesdiagnosesysteme und kam zu dem Schluss, dass keines dieser Systeme die einzelnen Stadien der Kariesentwicklung und deren Aktivitätszustand zufriedenstellend erfasste. Er forderte, dass zukünftige Kariesklassifikationssysteme Schmelz- und Dentinläsionen im nichtkavitierten und kavitierten Zustand sowie deren Aktivität erfassen müssen. Besondere Aufmerksamkeit sollte dabei den Schmelzläsionen zukommen, die bereits Black (1910) als den wichtigsten Schritt im Kariesentstehungsprozess ausgemacht hat (Ismail, 2004).

2.5.1 ICDAS-II

Das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) wurde als Konsequenz mehrerer systematischer Übersichtsarbeiten, die Inkonsistenzen in bisherigen visuellen Klassifikationssystemen aufzeigten, im Jahr 2002 von einer Gruppe internationaler Kariologen und Epidemiologen entwickelt. Deren Intention war es, das Beste aus den bisherigen evidenzbasierten Klassifikationssystemen zusammenzuführen und dies zu einem System, welches in der zahnärztlichen Praxis, in epidemiologischen und klinischen Studien verwendet werden kann, zu entwickeln. Besondere Beachtung fanden dabei die Ausdehnung, der Aktivitätszustand, der Schweregrad, das resultierende klinische Management und die Prognose einer kariösen Läsion (Pitts, 2004). Im Jahr 2005 wurde nach ersten Studien eine Modifikation notwendig. Daraus resultierte das International Caries Detection and Assessment System II (ICDAS-II) in seiner heutigen Form (ICDAS Coordinating Committee, 2005).

Das ICDAS-II setzt sich aus zwei Ziffern zusammen, die den aktuellen Zahnstatus erfassen. Dabei werden insgesamt 182 zu untersuchende Zahnflächen hinsichtlich kariöser Veränderungen an den Wurzeln und an den Okklusal- und Glattflächen der Zähne erfasst. Mit der ersten Ziffer des ICDAS-II werden zahnärztliche Restaurationen und Versiegelungen registriert, während mit der zweiten Ziffer die Ausdehnung einer kariösen Läsion erhoben wird. Das E-learning Programm auf der Homepage der ICDAS Foundation führt in die Anwendung ein und bietet mehrere Trainingsmöglichkeiten an¹. Eine detaillierte Erläuterung der Einteilung einer okklusalen kariösen Läsion erfolgt in Kapitel 4.2 in Tabelle 4.3.

¹vgl. www.icdas.org

Das ICDAS-II wurde hinsichtlich der Sensitivität, der Spezifität und der Reproduzierbarkeit eingehend validiert (vgl. Tabellen 2.3, 2.4).

Tabelle 2.3: Übersicht aktueller Studien zur Validierung des ICDAS-II Systems

	Sensitivität		Spezifität	
	D1	D3	D1	D3
Jablonski-Momeni et al. (2008a)	0,59-0,73	0,48-0,83	0,74-0,91	0,82-0,94
Jablonski-Momeni et al. (2008b)	90,7%	86,6%	54,0%	69,6%
Mitropoulos et al. (2010)	0,96-0,92	1-0,94	0,5-0,63	0,41-0,5

Tabelle 2.4: Übersicht aktueller Studien zur Reproduzierbarkeit des ICDAS-II an okklusalen Zahnflächen (* = ungewichteter Kappa-Wert)

	Reliabilität	
	Intra-Untersucher	Inter-Untersucher
Ismail et al. (2007)	0,59-0,82	0,59-0,82
Jablonski-Momeni et al. (2008a)	0,73-0,83	0,61-0,83
Jablonski-Momeni et al. (2008b)	0,73-0,83	0,61-0,83
Braga et al. (2009)	0,60-0,79	0,55-0,86
Diniz et al. (2009)	0,58*	0,51*
Mendes et al. (2010)	0,590-0,789	0,554-0,862
Jablonski-Momeni et al. (2010)	0,82-0,93	0,72-0,90

2.6 Methoden der okklusalen Kariesdetektion

Das Hauptanliegen etablierter und moderner Verfahren zur Diagnostik besteht darin, frühzeitig und zuverlässig kariöse Veränderungen unterschiedlichster Topographie im dentalen Gewebe zu detektieren. Immer mehr Bedeutung wird der validen Beurteilung des Progressionsgrades und der Aktivität kariöser Läsionen beigemessen. Gerade bei der Untersuchung der Fissuren steht als Problem die Einschätzung der Läsionsprogression im Vordergrund. Die Differenzierung in eine rein schmelzbegrenzte initiale kariöse Läsion oder in eine bereits bis ins Dentin vorgedrungene Karies (D3-Niveau) entscheidet maßgebend über den Einsatz präventiver oder restaurativ-orientierter zahnärztlicher Maßnahmen (Heinrich-Weltzien et al., 2008).

Einen Überblick aktueller Verfahren zur Detektion und Diagnostik kariöser Prozesse liefert die nachfolgende Tabelle 2.5.

Tabelle 2.5: Kariesdetektionsverfahren

klassisch <ul style="list-style-type: none"> • visuell-taktil <ul style="list-style-type: none"> – Spiegel – Luftpüster – Lupenbrille – abgerundete PCI-Sonde 	invasiv <ul style="list-style-type: none"> • Histologie <ul style="list-style-type: none"> – entkalkte Paraffinschnitte – nicht entkalkte Zahnschliffe • Transversale Mikroradiographie
physikalisch <ul style="list-style-type: none"> • Röntgen <ul style="list-style-type: none"> – analog – digital 	optisch-physikalisch <ul style="list-style-type: none"> • intensitätsbasiert <ul style="list-style-type: none"> – Faseroptische Transillumination • fluoreszenzbasiert <ul style="list-style-type: none"> – Diagnodent – Diagnodent pen – Vista Proof – VistaCam iX – Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz

2.6.1 Klinisch visuell-taktile Diagnostik

Die visuelle Inspektion sollte stets an gereinigten und getrockneten Zähnen erfolgen (Kühnisch et al., 2007). Erst nach einer gründlichen Reinigung und einer ausreichenden Trocknung lassen sich Veränderungen der Hartschubstanz deutlich erkennen und differentialdiagnostisch als exogene Verfärbung oder kariöse Läsion einteilen. Das ICDAS-II-System empfiehlt dabei eine 5 sekundenlange Trocknung, da aufgrund einer übermäßigen Trocknung falsch-positive Werte ermittelt werden können².

Der Einsatz einer spitzen Sonde kann irreversible Defekte in demineralisierten Bereichen der Fissuren verursachen (Ekstrand et al., 1987). Dies konnten Ekstrand et al. (1987) in einer Studie an 20 extrahierten Weisheitszähnen belegen. Zu diesem Zweck wurden 10 Probanden mit je zwei frisch durchgebrochenen und für die Extraktion vorgesehenen Weisheitszähnen ausgewählt. Jeweils einer der Zähne wurde klinisch mit einer spitzen Sonde untersucht. Der andere diente als endogene Kontrolle. Nach

²vgl. www.icdas.org

einer Woche wurden die Zähne extrahiert und histologisch aufbereitet. In der Sondierungsgruppe wiesen 60% der Schnitte traumatisch bedingte mit Plaque gefüllte Defekte auf. In der Kontrollgruppe lag dieser Anteil lediglich bei 7%. Um das Einbrechen in einen demineralisierten Fissurenbereich abzuwenden, empfiehlt daher die WHO die drucklose Verwendung abgerundeter CPI-Sonden (WHO, 1997).

Penning et al. (1992) untersuchten in einer Studie die Genauigkeit der sondenunterstützten Kariesdiagnose in den Fissuren. Dabei verwendete er 100 extrahierte Molaren mit verfärbten Fissuren, die jedoch keine sichtbaren Kavitäten aufwiesen. Diese Zähne wurden im Fissurenrelief mit einer Kraft von 0,5 Newton sondiert. Im Anschluss wurden die Zähne histologisch aufgearbeitet und röntgenologisch untersucht. Die Bereiche, an denen die taktile Untersuchung eine Läsion implizierte, wurden mit den Röntgenaufnahmen korreliert. Es zeigte sich, dass die taktile Untersuchung nur 24% der Läsionen entdecken konnte. Allerdings war die Rate der falsch-positiven Testergebnisse gering.

Zur Unterstützung der visuellen Inspektion von Okklusal- und Glattflächen können Vergrößerungshilfen verwendet werden (Heinrich-Weltzien et al., 2003). Bei der visuellen Inspektion, ergänzt durch eine Vergrößerungshilfe, konnten für eine 1-fache Vergrößerung eine Sensitivität von 32% und eine Spezifität von 97%, sowie für eine 3,5-fache Vergrößerung eine Sensitivität von 42% und eine Spezifität von 94% ermittelt werden (Allais, 2009).

In einer klinischen Vergleichsstudie zur Validität visueller, röntgenologischer und laseroptischer Okklusalkaries-Diagnose wurden für die visuelle Untersuchung eine niedrige Sensitivität von 25%, eine Spezifität von 100% und ein Kappa-Wert von 0,25 ermittelt. Dabei wurden die Okklusalflächen der zu untersuchenden Zähne anhand der Beurteilungskriterien nach Ekstrand et al. (1998) erfasst. Dies bedeutet, dass mit dieser Methode die Anzahl gesunder Okklusalflächen überschätzt und kariöse Läsionen zu 75% nicht erkannt wurden (Heinrich-Weltzien et al., 2003).

In einer von Bader et al. (2001) veröffentlichten Übersichtsarbeit wurde für die visuelle und die visuell-taktile okklusale Kariesdetektion die Sensitivität und Spezifität ermittelt. Dabei wurden für die visuelle Untersuchung einer Schmelzkaries eine Sensitivität von 0,66 und eine Spezifität von 0,69 festgestellt. Für die visuelle Erfassung einer okklusalen Dentinkaries konnte eine Spezifität von 89% und eine Sensitivität von 37% bestimmt werden. Die visuell-taktile Untersuchung war in Bezug auf die Dentinkaries wenig sensitiv (0,19), jedoch sehr spezifisch (0,97). Dies bedeutet, dass bei der visuellen und der visuell-taktile Beurteilung einer bis ins Dentin vorgehenden kariösen Läsion mehr kranke Flächen fälschlicherweise als gesund identifiziert wurden. Die geringen Werte für die visuelle Erfassung einer Schmelzkaries

weisen daraufhin, dass für eine frühzeitige und eindeutige Kariesdetektion weitere ergänzende Diagnoseverfahren notwendig sind.

2.6.2 Laserfluoreszenzmessung

Die optischen Methoden, die sich der Fluoreszenz bedienen, basieren auf der physikalischen Eigenschaft, dass das kariöse Gewebe stärker als das gesunde Gewebe fluoresziert, wenn es durch kohärentes oder inkohärentes sichtbares Licht angeregt wird (de Benedetto et al., 2011). Dabei sind nicht die durch den Demineralisationsvorgang entstandenen Poren und die dadurch veränderte Lichtleitung verantwortlich, sondern vor allem die Anwesenheit von bakteriellen Metaboliten wie Porphyrinderivate (König et al., 1998). Untersuchungen der Arbeitsgruppe um Buchalla zum Vorkommen bestimmter Porphyrine im kariösen Dentin zeigten, dass die Ursachen des roten Fluoreszenzverhaltens kariöser Dentinläsionen bei Bestrahlung mit blauvioletttem Licht von 405 nm die Porphyrinderivate Protoporphyrin IX, Coproporphyrin I und II, Zn-Protoporphyrin und noch nicht identifizierte Derivate sind (Buchalla et al., 2008). Die Fluoreszenz kann jedoch durch das für In-vitro-Studien verwendete Lagerungsmedium, durch Plaque oder durch die Zahnfarbe beeinflusst werden (Mendes et al., 2004; Francescut et al., 2006; Allais, 2009). Der Einsatz von Fissurenversiegeln kann je nach verwendetem Material und laseroptischer Methode eine höhere oder eine geringere Fluoreszenz hervorrufen. So schwächen opake Versiegler die Fluoreszenz ab (Diniz et al., 2008).

Das DIAGNOdent und der DIAGNOdent pen (KaVo, Biberach) emittieren rotes Licht mit einer Wellenlänge von 655 nm und übersetzen die Emissionen der Porphyrinderivate in eine numerische Skala von 0 bis 99. Je höher der Wert, desto ausgehelter ist der kariöse Defekt (Rodrigues et al., 2009; de Benedetto et al., 2011). Im Hinblick auf die Verwendung von Fissurenversiegeln kann das DIAGNOdent und der DIAGNOdent pen zur Erfassung okklusaler Karies an versiegelten Kauflächen, welche mit einem ungefüllten klaren Versiegler versorgt sind, genutzt werden. Hingegen sollte bei den mit nanogefüllten Versiegeln behandelten Flächen nur das DIAGNOdent angewendet werden (Diniz et al., 2008). Auch können Rückstände von Politurpasten zu falsch-positiven Werten führen (Lussi und Reich, 2005; Diniz et al., 2011). Die Arbeitsgruppe um Diniz konnte jedoch zeigen, dass das intraorale Kamerasystem VistaProof im Gegensatz zu DIAGNOdent und DIAGNOdent pen von den Reinigungspasten geringer beeinflusst wird (Diniz et al., 2011).

Das intraorale Kamerasystem VistaProof (Dürr Dental GmbH & Co.KG, Bietigheim-Bissingen) verwendet blauvioletttes Licht mit einer Wellenlänge von 405 nm. Über einen Monitor und eine spezielle Software wird die Fluoreszenz der zu unter-

suchenden Zahnflächen optisch und numerisch ausgewertet und dargestellt (de Benedetto et al., 2011).

Die intraorale Fluoreszenzkamera VistaCam iX (Dürr Dental GmbH & Co.KG, Bietigheim-Bissingen) stellt eine Weiterentwicklung des VistaProof Gerätes dar und besteht aus einem Kamerahandstück mit zwei beigefügten Wechselköpfen. Ein Wechselkopf vereint die Eigenschaften der Fluoreszenztechnologie für die Kariesdetektion und die Visualisierung der Plaque, während mit dem anderen Wechselkopf intraorale Aufnahme zum Kariesmonitoring digital gespeichert werden können. Mit Hilfe der beigefügten Software DBSWIN kann die Ausdehnung der kariösen Läsion ausgewertet werden (Jablonski-Momeni et al., 2012).

Die Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF) erfasst über ein digitales Kamerasystem die Fluoreszenzveränderung der Zahnhartsubstanz von gesunden zu kariösem Gewebe und ermittelt dadurch Veränderungen im Mineralgehalt der zu untersuchenden Fläche. Dabei liegt je nach Gerät die verwendete Wellenlänge bei 488 nm (grün), 514 nm (grün) oder 290-450 nm (ultraviolett-blau) (Eberhart et al., 2007). Trifft das Licht auf eine kariöse Läsion, so erhöht sich die Streuung, die Lichtdurchlässigkeit sinkt, das emittierte Fluoreszenzlicht wird stärker absorbiert und die Remission sinkt. Dadurch erscheint eine kariöse Läsion dunkler. Je höher die Absorption ist, desto größer ist der Mineralverlust (Ifland et al., 2004).

DIAGNOdent

In einer klinischen Vergleichsstudie zur Validität visueller, röntgenologischer und laseroptischer Diagnostik zur Beurteilung okklusaler Karies auf Dentinniveau wurde für die Untersuchung anhand des DIAGNOdent eine hohe Sensitivität von 93%, eine Spezifität von 63% und eine Übereinstimmung von 0,89 (Cohens Kappa) ermittelt. Dies bedeutet, dass mit dieser Methode gesunde Flächen zu 27% nicht erkannt wurden (Heinrich-Weltzien et al., 2003). Im direkten Vergleich mit dem Goldstandard korrelierten Untersuchungen mit dem DIAGNOdent moderat (Spearman $r_s = 0,51$) (Jablonski-Momeni et al., 2011). Untersuchungen der Arbeitsgruppe um Rodrigues zur Registrierung der okklusalen Kariesextension zwischen dem DIAGNOdent 2095 und der visuellen Befundung zeigten eine höhere Spezifität (0,72-0,94) und eine geringere Sensitivität (0,20-0,69) für das DIAGNOdent Gerät im Vergleich zur visuellen Untersuchung (Spezifität: 0,20-0,98; Sensitivität: 0,13-0,97). Die Werte für die Intraclass Correlation (ICC) lagen im exzellenten Bereich und variierten von 0,90 bis 0,92. Die ungewichteten Kappa Werte für die laseroptische Untersuchung variierten zwischen gut bis exzellent (0,56-0,77), während schlechte bis gute Werte für die visuelle Untersuchung (0,19-0,65) ermittelt wurden. Dabei wurden in die-

ser In-vitro-Studie 179 Milchmolaren und 148 bleibende menschliche Molaren untersucht. Anschließend wurden die Zähne von bukkolingual zentral durch die kariöse Läsion halbiert und histologisch aufbereitet. Die starken Schwankungen für die Werte der Sensitivität und Spezifität resultieren aus den in dieser Studie verwendeten drei unterschiedlichen cut-off Grenzen. Jedoch konnte gezeigt werden, dass das DIAGNOdent im Gegensatz zur visuellen Untersuchung eine höhere Spezifität aufweist (Rodrigues et al., 2009). Zu diesem Ergebnis kam auch die Arbeitsgruppe um Reis, deren laseroptische Untersuchung an 57 Weisheitszähnen unter Laborbedingungen eine höhere Spezifität und Genauigkeit im D3 Grenzbereich im Vergleich zur visuellen Befundung zeigte (Reis et al., 2006).

Bader und Shugars (2004) verglichen in einer systematischen Übersichtsarbeit die Validität der laseroptischen Untersuchung mit dem DIAGNOdent und kamen zu dem Schluss, dass das DIAGNOdent sensibler als die traditionellen diagnostischen Methoden ist. Damit nimmt jedoch die Häufigkeit falsch-positiver Diagnosen zu und limitiert damit zugleich den Einsatz des DIAGNOdent als hauptsächliches diagnostisches Werkzeug. In der Praxis kann sich zudem das DIAGNOdent bei der Erhebung eines vollständigen Zahnstatus aufgrund der punktuellen Abtastung der zu untersuchenden Fläche als zeitaufwendig erweisen (Eberhart et al., 2007).

DIAGNOdent pen

Der DIAGNOdent pen basiert auf roter Laserlicht induzierter Fluoreszenz und kann aufgrund der zwei beigefügten unterschiedlichen Saphirfaserspitzen sowohl für den Einsatz zur Detektion okklusaler als auch approximaler kariöser Läsionen verwendet werden (Lussi und Hellwig, 2006). Jedoch konnte in einer Studie, welche die Leistungsfähigkeit der Sonden des DIAGNOdent pen mit dem herkömmlichen DIAGNOdent an okklusalen Flächen verglich, kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Insgesamt konnten für das neue Gerät auf D1-, D2- und D3-Niveau Werte für die Spezifität zwischen 0,69 und 0,89 und für die Sensitivität Werte zwischen 0,78 und 0,96 ermittelt werden. Damit ist der DIAGNOdent pen in Bezug auf das okklusale Relief vergleichbar leistungsfähig wie das herkömmliche Gerät (Lussi und Hellwig, 2006). Ähnliche Werte für die Sensitivität (0,78) ergaben Untersuchungen der Arbeitsgruppe um Rodrigues. Es wurde allerdings eine geringere Spezifität (0,56) ermittelt. Dies bedeutet, dass mit dieser Methode gesunde Flächen zu 44% nicht erkannt wurden. Die Korrelation mit der histologischen Methode betrug für den DIAGNOdent pen 0,52, und das DIAGNOdent 0,53 und wies somit keinen signifikanten Unterschied auf. Gleichermaßen verhält es sich mit den Werten für die Übereinstimmung zwischen den Untersuchern und den Untersuchungszeitpunkten.

Dabei unterscheiden sich die ICC-Werte für den DIAGNOdent pen lediglich um 0,02 von denen des herkömmlichen Gerätes (Rodrigues et al., 2008).

Vista Proof

Im Hinblick auf die Fluoreszenzkamera VistaProof wurde in einer In-vitro-Studie deren Fähigkeit, kariöse Läsionen im Kauflächenrelief bleibender Zähne zu detektieren, untersucht. Dabei zeigte sich für das VistaProof eine etwas bessere Fähigkeit, ins Dentin vorgedrungene Karies zu erfassen, als für den DIAGNOdent pen. Für das VistaProof wurde eine Sensitivität von 0,86 und eine Spezifität von 0,63 ermittelt. Die Werte für die Intraclass Correlation fielen sowohl für die Übereinstimmung zwischen den Untersuchern (0,76) als auch für die Interrater Reliabilität (0,85) geringer aus, als bei den Geräten DIAGNOdent (0,85; 0,90) und DIAGNOdent pen (0,87; 0,93). Trotz der hohen Sensitivität erreicht das VistaProof nur eine schwache Korrelation (0,41) zur histologischen Untersuchung. Außerdem ist eine Erfassung schmelzbegrenzter okklusaler Läsionen mit dem VistaProof eingeschränkt. Hingegen erweist sich die Funktion der Bildspeicherung als Vorteil. Damit ist ein Monitoring kariöser Läsionen möglich (Rodrigues et al., 2008). Ähnliche moderate Werte ($r_s = 0,47$, $r_s = 0,55$) lieferte der Vergleich zwischen der Fluoreszenzkamera und dem histologischen Goldstandard. Auf dem D1-Niveau konnte für das VistaProof eine gemittelte Sensitivität von 0,84 und eine gemittelte Spezifität von 0,36 ermittelt werden. Für die Dentinkaries lagen die Durchschnittswerte für die Sensitivität bei 0,07 und für die Spezifität bei 0,98. Die Werte des Intraclass Correlation Koeffizienten für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit (0,81 und 0,95) und Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit (0,76) waren hoch (Jablonski-Momeni et al., 2011). Die Arbeitsgruppe um Matos evaluierte die klinische Leistung des VistaProof, okklusale kariöse Veränderungen im Milchgebiss auch in In-vivo zu erfassen. Die Ergebnisse wurden mit denen der visuellen, der röntgenologischen und laseroptischen (DIAGNOdent pen) Untersuchungen verglichen. In Bezug auf nichtkavitierte Läsionen lieferte der DIAGNOdent pen im Vergleich zu VistaProof und zur radiologischen Methode geringfügig bessere Werte. Hingegen zeigten beide laseroptische Methoden auf D3-Niveau ähnlich valide Ergebnisse. Aber sowohl der DIAGNOdent pen als auch das VistaProof führen im direkten Vergleich zur visuellen und röntgenologischen Untersuchung zu mehr falsch-positiven Ergebnissen. Folglich können die laseroptischen Methoden als eine Ergänzung der visuellen Inspektion angesehen werden. Insbesondere lässt sich dadurch die Sensitivität verbessern (Matos et al., 2011).

VistaCam iX

Bisher liegt nur eine sehr kleine Anzahl von Studien zum VistaCam iX vor. Beim Vergleich der VistaCam iX mit der herkömmlichen Fluoreszenzkamera VistaProof bei der Detektion okklusaler kariöser Läsionen konnten hohe Korrelationen ($r_s = 0,85$, $r_s = 0,90$) erreicht werden. Wurden beide Geräte mit der Histologie verglichen, so ergaben sich ebenfalls hohe Korrelationen ($r_s = 0,69$ bis $r_s = 0,79$). Die Sensitivität der VistaCam iX auf dem D1-Niveau lag gemittelt bei 79%, die Spezifität bei 87%. Auf dem D3-Niveau lag die Spezifität (67%) niedriger, demgegenüber lag die Sensitivität (87%) geringfügig höher (Jablonski-Momeni et al., 2012). Um die Validität besser abschätzen zu können, sind weitere Studien notwendig.

Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF)

Shi et al. (2001) zeigten in einer Vergleichsstudie, dass die QLF eine hohe Sensitivität (0,83-0,94) und Spezifität (0,98-1) aufwies. Der Korrelationskoeffizient nach Spearman für den im Zahnschmelz ermittelten Mineralverlust zeigt für die QLF eine hohe Korrelation (0,76) auf, während mit dem DIAGNOdent nur eine moderate Korrelation (0,67) ermittelt wurde. Damit lassen sich mit Hilfe der QLF-Methode Re- und Demineralisationsprozesse in Schmelzläsionen und die Größe einer kariösen Läsion beobachten (Shi et al., 2001; Ifland et al., 2004).

2.6.3 Faseroptischer Transillumination

Die faseroptische Transillumination (FOTI) bedient sich der unterschiedlichen lichtzerstreuenden Eigenschaften der gesunden Zahnhartsubstanz und der kariösen Läsion (Pine und ten Bosch, 1996). Dabei wird die zu untersuchende Zahnfläche mit einer Kaltlichtsonde, deren Lichtquelle eine Halogenlampe ist, welche das Licht durch eine faseroptische Kabel leitet, durchleuchtet (Einwag und Pieper, 2002). Die digitale Weiterentwicklung DIFOTI (Digitale Faseroptische Transillumination) verarbeitet die Information, welche der durchleuchtende Lichtstrahl erzeugt, in einem im Sensor enthaltenen CCD-Chip (Charge Coupling Devices) und übermittelt diese als qualitatives Echtzeitbild an einen Computer (Schneiderman et al., 1997; Allais, 2009). Die Bildspeicherung ermöglicht ein quantitatives Monitoring zur Kariesanalyse (Schneiderman et al., 1997).

Wenn kariös veränderter Schmelz durchleuchtet wird, erscheint dieser grau und opak im Kontrast zur gesunden Zahnhartsubstanz. Hat sich der kariöse Defekt bis ins Dentin ausgeweitet, dann erscheint ein orangebrauner bis bläulicher Schatten tief innerhalb des Zahnes. Obgleich die faseroptische Transillumination allgemein zur

Detektion approximaler Karies verwendet wird, ist der Einsatz der Kaltlichtsonde im Kaurelief zur Erfassung und Auswertung okklusaler kariöser Läsionen nützlich (Côrtes et al., 2003). Makroskopisch nicht sichtbare kariöse Läsionen im Schmelz, die sich gerade über die Schmelz-Dentin-Grenze ausgebreitet haben, konnten durch die faseroptische Transillumination genauer diagnostiziert werden als mit den analogen und digitalen Röntgenaufnahmen (Wenzel et al., 1992). Untersuchungen um Côrtes et al. (2003) zeigten für die visuelle Inspektion und die faseroptische Transillumination im Bereich der schmelzbegrenzten Karies eine hohe Sensitivität (0,98; 0,98) und eine geringe Spezifität (0,38; 0,50) auf. In Bezug auf kariöse Defekte, die sich bis ins Dentin ausbreiten, ergaben sich hohe spezifische (0,90; 0,96) und mittlere sensitive (0,55; 0,66) Werte. Mit Hilfe des FOTI Gerätes ist es möglich, kariöse Läsionen, die sich auf die innere Hälfte des Schmelzes beschränken, von denen, die sich bereits in das äußere Dentindrittel ausgebreitet haben, zu unterscheiden. Jedoch können Verfärbungen und brown-spot Läsionen die Diagnoseleistung verringern (Côrtes et al., 2003).

2.6.4 Radiographie

Die Radiographie dient als Ergänzung der klinisch visuellen Erfassung, da sich aufgrund von Fluoridierungsmaßnahmen unter einer anscheinend intakten äußeren Schmelzoberfläche Karies langsam und unbemerkt ausdehnen kann. Überlagerungen bukkaler und lingualer Schmelzflächen im Fissurenrelief erschweren die röntgenologische Diagnose (Lazarchik et al., 1995). Darüber hinaus tendieren röntgenologische Auswertungen zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Ausmaßes einer kariösen Läsion im Fissurenrelief und führen zu mehr falsch-negativen Diagnosen (Wenzel et al., 1990). Jedoch liefert die konventionelle Radiographie im Vergleich zur visuellen Inspektion doppelt so viele richtig-positive Ergebnisse (Wenzel et al., 1991). Für die Detektion tief im Dentin ausgedehnter okklusaler Karies ergaben die Auswertungen konventioneller Röntgenaufnahmen eine hohe Spezifität, jedoch eine schlechte Sensitivität von durchschnittlich 45% (Wenzel et al., 1991; Lussi, 1993). Heinrich-Weltzien et al. (2003) untersuchten in einer klinischen Vergleichsstudie die Validität visueller, röntgenologischer und laseroptischer Diagnostik hinsichtlich der Erfassung kariöser okklusaler Dentinläsionen. Die Röntgendiagnostik erfolgte anhand von Bissflügelaufnahmen. Dabei wurden eine mittlere Sensitivität von 70%, eine hohe Spezifität von 96% und eine gute Übereinstimmung von 0,69 (Cohens Kappa) ermittelt (Heinrich-Weltzien et al., 2003). In einer von Bader et al. (2001) veröffentlichten Übersichtsarbeit wurden 30 Studien, welche das röntgenologische Verfahren hinsichtlich Sensitivität und Spezifität untersuchten, ausgewertet. Dabei

wurden Studien berücksichtigt, die Aussagen zu rein schmelzbegrenzten und bereits in das Dentin vorgedrungene okklusale kariöse Läsionen untersuchten. Lag der kariöse Defekt ausschließlich im Schmelz, betrug die gemittelte Sensitivität lediglich 30%, während eine deutlich höhere Spezifität (76%) festgestellt wurde. Bei den bereits im Dentin vorhandenen okklusalen Läsionen setzte sich dieser Trend nur mit höheren Werten (Sensitivität 53%, Spezifität 83%) fort. Dies bedeutet, dass konventionelle Röntgentechnik mehr kranke Flächen fälschlicherweise als gesund identifiziert.

Die digitale Radiographie bedient sich zweier unterschiedlicher Verfahren. Je nach System kommen dabei CCD-Sensoren oder digitale Phosphorspeicherfolien zum Einsatz. Der Vorteil bei der Verwendung des CCD-Sensoren Systems besteht darin, dass die Bildinformation in Echtzeit sofort nach der Auslösung der Aufnahme an einem Monitor als digitalisiertes Röntgenbild abgerufen werden kann. Hierfür ist der Sensor direkt über ein Kabel mit einem Computer verbunden. Jedoch ist mit einer erschwerten Handhabung am Patienten aufgrund der Kabelverbindung und des schwer positionierbaren breiten Sensors zu rechnen. Bei der Speicherfolienmethode werden die gespeicherten Bildinformationen mit Hilfe eines Laserscanners abgetastet, ausgelesen und an einen Monitor ausgegeben (Wenzel, 1998). Nachteilig am Speicherfoliensystem ist die Möglichkeit, den Sensor verkehrt mit der nicht ablesbaren Seite im Scanner zu positionieren. Weiterhin kann eine unachtsame Handhabung zu einem Abknicken der Speicherfolie führen (Chiu et al., 2008). Dennoch erweist sich die digitale Radiographie im Gegensatz zur konventionellen Radiographie als sensitiver und erfasst über 70% der im Dentin befindlichen tiefen Läsionen, ohne dabei zu einem Anstieg von falsch-positiven Werten bei den tatsächlich kariesfreien Zähnen zu führen (Wenzel et al., 1991). Bei vergleichbarer oder sogar besserer Qualität ist damit aufgrund der höheren Empfindlichkeit der digitalen Sensoren eine Reduktion der Strahlenbelastung möglich (Pine und ten Bosch, 1996; Wenzel, 1998).

2.6.5 Histologie

”Als Goldstandard wird das am besten und zuverlässigsten eingestufte Diagnosesystem zum Nachweis oder zum Ausschluss einer Erkrankung bezeichnet. Im Bereich der Kariesdiagnostik ist der Goldstandard die histologische Untersuchung unter dem Mikroskop.” (Allais, 2009)

Bottenberg und Schulte (2011) verglichen in einer Übersichtsarbeit die von 1990 bis 2010 veröffentlichten Publikationen, welche sich auf den histologischen Goldstandard in der Kariesdiagnostik beziehen und diese Methode beschreiben. Diese wurden hinsichtlich der Anzahl der verwendeten Zähne, der Anzahl der Untersu-

cher, der Reproduzierbarkeit und der verwendeten histologischen Probenherstellung analysiert. In 79 Studien wurden im Mittel 68 Zähne untersucht. 50 Studien verwendeten histologische Einzelschnitte mit einer Präparatdicke von 50 bis 1000 μm . Bei 15 Studien erfolgte lediglich eine Hemisektion der zu untersuchenden Zahnproben. In 28 Studien wurde erwähnt, dass vor dem Schneidevorgang eine Einbettung der Präparate in Kunststoff erfolgte. Bei vier Studien erfolgte das Schneiden der Proben ohne vorherige Einbettung. In den restlichen Studien wurde jedoch die Herstellung der Schliffpräparate nicht erwähnt. Aufgrund dieser methodischen Heterogenität der Studien lassen sich die resultierenden Ergebnisse nur bedingt vergleichen. Daraus lässt sich ableiten, dass eine Standardisierung der histologischen Methode als Goldstandard notwendig ist.

2.6.6 Transversale Mikroradiographie

Die transversale Mikroradiographie basiert auf einer Kombination von Radiographie und Histologie. Eingesetzt wird diese Methode, um De- und Remineralisationsprozesse der Zahnhartsubstanz für Studienzwecke zu analysieren und dadurch die Morphologie und Veränderungen des Mineralgehaltes von Schmelz- und Dentinproben zu messen (Thewlis, 1940; Angmar et al., 1963; Amaechi et al., 1998; Gmür et al., 2006). Dabei werden planparallele Zahnschliffpräparate mit einer Dicke von 80 μm für Schmelzschnitte und bis zu 200 μm für Dentinproben hergestellt. Zusammen mit einer Aluminiumkalibriertreppe werden die Schliffproben unter Verwendung eines hochempfindlichen Films röntgenologisch abgelichtet. Mit einer speziellen Röntgenkamera, einem Mikroskop mit CCD-Kameradetektor und einer speziellen Computersoftware wird ein digitales Mikroradiogramm erstellt. Der Mineralgehalt wird dabei automatisch anhand des Negativbildes über einen Graubgleich zwischen der Schliffprobe und der Kalibriertreppe berechnet. Somit lässt sich der Mineralverlust ($\text{Vol.}\% \mu\text{m}$) und die Läsionstiefe (μm) kariöser Läsionen ermitteln³. Die transversale Mikroradiographie wurde in zahlreichen Studien zur Bestimmung des Mineralgehalts eingesetzt (González-Cabezas et al., 1998; ten Cate, 2001; Thomas et al., 2006; Paris et al., 2009).

³vgl. <http://www.inspektor.nl/dental/tmrmain.htm>

3 Zielsetzung

In der vorliegenden In-vitro-Studie sollte die Ausdehnung der okklusalen Karies mit Hilfe von digitalen Aufnahmen von Zahnhartschnitten und digitalisierten Röntgenbildern und deren Originalbefunden untersucht werden. Als Referenzuntersuchung diente die Entscheidung der Konsensusgruppe, welche 2008 von Jablonski-Momeni (Jablonski-Momeni et al., 2008a) veröffentlicht wurde. Die Konsensusgruppe untersuchte die in dieser Studie verwendeten Zähne visuell gemäß dem ICDAS-II System.

Folgende Fragen sollten dabei geklärt werden:

1. Wie korrelieren die in dieser In-vitro-Studie verwendeten unterschiedlichen Verfahren und Klassifikationen mit dem ICDAS-II?
2. Wie korrelieren die analogen, digitalen und analog-digitalisierten Röntgenbefunde miteinander?
3. Wie korrelieren die histologischen Befunde okklusaler kariöser Läsionen mit den Befunden der digitalfotografischen Reproduktion?
4. Welchen Effekt hat die Digitalisierung auf die Reproduzierbarkeit bei der Verwendung zwei unterschiedlicher histologischer Klassifikationssysteme?
5. Wie hoch ist die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit der Histologie zwischen einem erfahrenen und einem unerfahrenen Untersucher?
6. Wie hoch ist die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit der Histologie der beiden Untersucher?

4 Material und Methode

4.1 Versuchsdesign

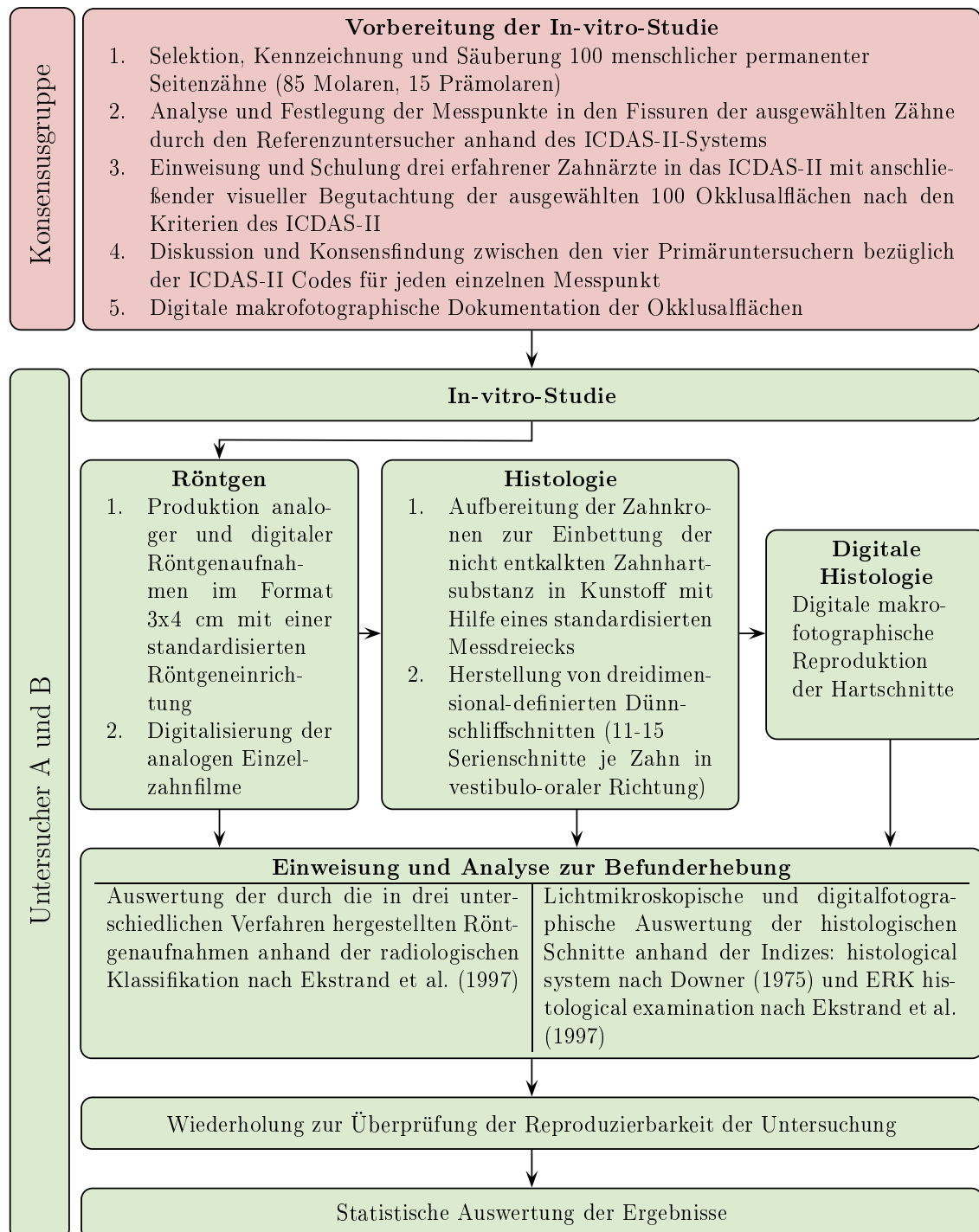


Abbildung 4.1: Studiendesign

4.2 Durchführung der Studie

Die Durchführung der Studie erfolgte in zwei Stufen:

Ein an der Entwicklung des ICDAS-II Systems beteiligter Untersucher definierte pro Zahn die Anzahl und die Position der zu untersuchenden Messpunkte im Fissurenrelief der ausgewählten extrahierten Zähne. Auf diese Weise wurden für die Studie 181 Messpunkte definiert (vgl. Tabelle 4.1). Anschließend erfolgte eine theoretische Einweisung mit praktischen Übungsbeispielen für drei weitere Untersucher in das ICDAS-II. Es wurde empfohlen, bei der visuellen Untersuchung darauf zu achten, dass die Zähne sowohl im trockenen als auch im feuchten Zustand untersucht werden sollten. Die Befundung sollte der besseren Erkennbarkeit wegen ausschließlich im gereinigten Zustand erfolgen. Nach dieser Schulung untersuchten die vier Befunder unabhängig voneinander die 100 Okklusalfächen entsprechend der Vorgaben des ICDAS-II Systems für die Diagnose der Okklusalkaries (vgl. Tabelle 4.3). Anschließend wurden die erzielten Ergebnisse von den vier Primäruntersuchern analysiert und bei abweichenden Diagnosen diskutiert, um ein gemeinsames Ergebnis zu erzielen und als Konsens zu definieren. Die Okklusalfächen aller Zähne wurden unter standardisierter Beleuchtung und in randomisierter Reihenfolge untersucht (Jablonski-Momeni et al., 2008a,b).

Für die vorliegende Studie wurde ein weiterer Untersucher B (RM) von einem bereits eingewiesenen Untersucher A (AJM) der Konsensgruppe durch eine zweistündige Präsentation in das ICDAS-II eingewiesen. Untersucher A verfügte zum Zeitpunkt der Datenerfassung über eine langjährige Berufserfahrung. Untersucher B befand sich zum Zeitpunkt der Untersuchung im vierten klinischen Semester des Studiums der Zahnmedizin der Philipps-Universität Marburg.

Im Verlauf des zweiten Studienabschnittes wurden von den 100 Zähnen Röntgenaufnahmen mit drei unterschiedlichen Verfahren angefertigt, histologische Präparate hergestellt und die Schliffpräparate digitalisiert.

Um eine einheitliche und sichere Befundung der eingesetzten Verfahren zu gewährleisten, erfolgte ein einstündiges Training durch den erfahrenen Untersucher A. Erst danach erfolgte eine unabhängige, einfach verblindete Befundung der in der Reihenfolge randomisierten 100 Zähne mit insgesamt 181 Messpunkten durch den Untersucher B. Die Röntgenaufnahmen wurden nach den von Ekstrand et al. (1997) definierten Kriterien analysiert. Für die Auswertung der histologischen Hartschnitte und deren digitalen Reproduktionen wurden zwei Klassifikationssysteme herangezogen (Downer, 1975; Ekstrand et al., 1997). Die erhobenen Befunde wurden direkt in die korrespondierenden Dokumentationsbögen eingetragen. Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse erfolgte jeweils eine zweite Untersuchung.

Die Befundung der histologischen Hartschnitte anhand der Kriterien nach Downer (1975) und nach Ekstrand et al. (1997) erfolgte außerdem durch den Untersucher A. Die Auswertung der analogen, digitalen und analog-digitalen Röntgenbilder erfolgte ebenfalls durch den Untersucher A (vgl. Tabelle 4.2).








Tabelle 4.1: Anzahl (n) der Messpunkte in Bezug pro Okklusalfäche

n Messpunkte/Zahn (n _{gesamt} Messpunkte = 181)	n Zähne (n _{gesamt} Zähne = 100)
1	33
2	54
3	12
4	1

Tabelle 4.2: Übersicht der durchgeführten Untersuchungen der an der Studie beteiligten Untersucher

Studiendesign	Untersuchungsmethode	Untersucher		
		Konsens	A	B
Vorbereitung	ICDAS-II	✓	✓	
In-vitro-Studie	Röntgen analog		✓	✓
	Röntgen digital		✓	✓
	Röntgen analog digital		✓	✓
	Histologie nach Downer		✓	✓
	Histologie nach Ekstrand et al.		✓	✓
	digitale Histologie nach Downer		✓	✓
	digitale Histologie Ekstrand et al.		✓	✓

Tabelle 4.3: Kriterien des ICDAS-II für die Diagnose der Okklusalkaries (ICDAS Coordinating Committee, 2005)

Score	Definition	Beispiel
Code 0	Keine Karies sichtbar nach Trocknung im Luftstrom (ca. 5 s). Veränderungen wie Schmelzhypoplasie, Fluorose, Attrition, Abrasion, Erosion, intrinsische und extrinsische Verfärbungen werden ebenfalls mit 0 befundet.	
Code 1	Erste visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche, die erst nach Trocknung des Zahnes sichtbar sind. Die Veränderungen können Opazitäten, weißliche oder bräunliche Verfärbungen sein und sind auf Fissuren und Grübchen beschränkt.	
Code 2	Deutliche visuelle Veränderungen in der Oberfläche des Schmelzes bereits am feuchten Zahn, die sich wie folgt zeigen können: Opazitäten im Sinne einer White Spot Läsion und/oder bräunlicher kariöser Verfärbungen in den Fissuren/Grübchen. Die Veränderungen müssen auch am getrockneten Zahn noch sichtbar sein.	
Code 3	Demineralisation bzw. Verlust der Schmelzstruktur im Bereich der Fissuren, ohne sichtbares Dentin. Die Opazitäten und/oder bräunliche oder schwarze kariöse Veränderungen dehnen sich über die Grenze der Fissuren/Grübchen hinaus und sind auch nach Trocknung des Zahnes sichtbar. Ggf. kann eine WHO-Sonde vorsichtig über den Schmelzdefekt geführt werden, um so die Diskontinuität der Schmelzoberfläche zu tasten.	
Code 4	Schattenbildung im Dentin ausgehend von Fissuren/Grübchen, mit und ohne Schmelzeinbruch. Die Schattenbildung ist am feuchten Zahn leichter zu diagnostizieren und kann gräulich, bläulich oder bräunlich sein.	
Code 5	Deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin. Am getrockneten Zahn ist der Schmelzverlust am Eingang der Fissur/Grübchen deutlich sichtbar. Ggf. kann die WHO-Sonde verwendet werden, um das freiliegende Dentin zu ertasten.	
Code 6	Großflächige Kavitätenbildung, dabei ist das Dentin in der Breite und Tiefe des Zahnes deutlich sichtbar. Mindestens die Hälfte der Schmelzoberfläche ist kariös zerstört, die Pulpa kann möglicherweise auch betroffen sein.	

4.3 Material

4.3.1 Zahnauswahl

Für die Studie wurden aus einer Sammlung von extrahierten menschlichen Zähnen 100 Seitenzähne der bleibenden Dentition ausgewählt. Daraus ergab sich eine Konstellation von 85 Molaren und 15 Prämolaren, welche unterschiedlich tief ausgeprägte Läsionen der Okklusallfläche, sowie eine intakte Hartschubstanz aufwiesen. Um einer Austrocknung und einer damit verbundenen Gewebeschrumpfung vorzubeugen, wurden die zu untersuchenden Zähne in einer gesättigten Thymollösung gelagert. Alle Zähne wurden mit Ultraschall, Prophylflex®, Bürstchen und Paste mechanisch gereinigt. Im nächsten Schritt wurden alle Okklusallflächen der für die Studie verwendeten 100 Seitenzähne digitalfotografisch reproduziert.

4.3.2 Kodierung der Prü fzähne

Eine erste Kennzeichnung erfolgte unter Verwendung eines rotierenden Instruments im Wurzelbereich der ausgewählten Zähne. Somit wurde in vestibulo-oraler Richtung der Wurzeloberfläche eine fortlaufend nummeriert Gravur eingezeichnet und mit einem handelsüblichen wasserfesten Stift nachgezeichnet.

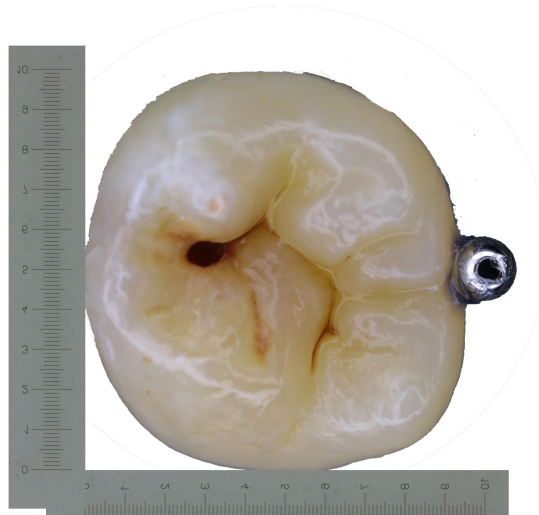


Abbildung 4.2: Okklusallfläche eines Zahnes mit entsprechenden Glastmaßstäben und Miniaturstahlkugel

Um eine eindeutige Orientierung zu gewährleisten, wurden die Distalflächen der 100 Zähne mittels eines Cyanacrylatklebstoffes (Sekundenkleber Pattex, Henkel, Düsseldorf) mit einer Miniaturstahlkugel (Durchmesser: 1,57 mm; GRW Würzburg) markiert und die okklusalen Oberflächen der Zähne zusammen mit einem vertikal

und einem horizontal angebrachten Glasmaßstab (10 mm) abgelichtet. Dazu wurden die Zähne zusammen mit den Maßstäben vor einem schwarzen Hintergrund mit einer Kleinbildkamera (Canon EOS D30, Objektiv MP-E, Brennweite 65 mm) im schrägen Aufsicht einer Ringleuchte digitalfotografisch reproduziert (vgl. Abbildung 4.2).

4.4 Methode

4.4.1 Radiographie

Alle Zähne wurden in orthograder Projektion von bukkal nach lingual analog und digital geröntgt. Die Röntgenaufnahmen erfolgten in Rechtwinkeltechnik. Um die röntgenstrahlenabsorbierende und streuende Wirkung der menschlichen Wange zu simulieren, wurden nach Ricketts et al. (1994) sowohl die analogen, als auch die digitalen Röntgenbilder, mit einer 16 mm dicken Beauty Pink Wachsplatte, die sich zwischen der Blende am Tubusende und den Zähnen befand, geröntgt. Im Vorversuch wurde eine geeignete Belichtungszeit ermittelt, welche ein optimales Ergebnis im Hinblick auf Kontrast und Bildrauschen lieferte. Daraus ergab sich eine Belichtungszeit für die analogen Zahnfilme von 120 ms für die Prämolaren und 160 ms für die Molaren, sowie für die digitalen Zahnfilme von 100 ms für die Prämolaren und von 120 ms für die Molaren.

4.4.2 Konventionelle Radiographie

Die analogen Zahnfilmröntgenaufnahmen wurden mit konstanter Röhrenspannung von 65 kV und einer Stromstärke von 7,5 mA im Standardformat 3x4 cm (Einzel film, Kodak Insight IP-21, Stuttgart) angefertigt. Als Strahlenquelle wurde der Röntgenstrahler Oralix AC[®] (Fa. Gendex, Hamburg) am Wandstativ verwendet. Entwickelt wurden die konventionellen Röntgenbilder unter standardisierten Bedingungen mit einem Entwicklungsautomaten (AC 245L, Fa. Dürr-Dental, Bietigheim-Bissingen), der sich in der Röntgenabteilung des Medizinischen Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Marburg befand.

4.4.3 Digitale Radiographie

Die digitalen Einzelzahnfilme wurden mit dem System Digora (Fa. Gendex, Hamburg) angefertigt und auf Digora-Phosphorspeicherfolien mit den Maßen 3x4 cm hergestellt. Als Strahlenquelle wurde der Röntgenstrahler Oralix 65[®] (Fa. Philips Gendex, Hamburg) am Wandstativ (Standort: Abteilung für Zahnerhaltung, Zahnklinik Marburg) verwendet. Die angelegte Röhrenspannung betrug konstant

65 kV bei einer Stromstärke von 6,5 mA. Die Speicherung der entstandenen Bilder erfolgte in 8-Bit-Bitmap (BMP)-Dateien, mit einer Auflösung von 988x750 Pixeln.

4.4.4 Digitalisierte konventionelle Radiographie

Die angefertigten analogen Zahnfilme wurden mit einer digitalen Kamera (Canon EOS D30) mit einem Makroobjektiv (Tamron SP, 90 mm, Blende 11) abfotografiert. Damit entstanden Bilddateien mit einer Auflösung von 1440x960 Pixeln. Diese digitalfotografisch reproduzierten analogen Röntgenaufnahmen wurden als Joint Photographic Experts Group (JPEG) Bilddatensätze gespeichert.

4.4.5 Herstellung der Dünnschliffpräparate

Als Vorlage für die Vorbereitung und Anfertigung der Hartschnitte diente ein standardisiertes Protokoll (Stachniss, 2005; Stachniss und Schwarzbach, 2009; Jablonski-Momeni und Stachniss, 2011).

Die Zahnkronen wurden ca. 0,5 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze mit einer Trennscheibe einer wassergekühlten, diamantierten Bandsäge separiert. Durch die Abtrennung der Wurzel war das pulpennahe Dentin permeabler für die nachfolgenden Arbeitsschritte (vgl. Tabelle 4.4).

Um ein Durchdrängen der Proben mit hydrophobem Acrylat zu erzielen und das Entstehen von Blasen beim Einbetten zu vermeiden, wurden die Zähne in einer aufsteigenden Alkoholreihe (40%, 60%, 80%, 100%, 100%) für je 12 Stunden entwässert. Die Ethanollösungen wurden permanent geschwenkt. Danach erfolgte der Austausch des in das Gewebe eingedrungenen Alkohols durch ein Alkohol-Acrylatgemisch (Verhältnis 1:1) über 24 Stunden und ein weiteres 36-stündiges Einbetten der Präparate in reinem Technovit 7200 VLC (Fa. Kulzer, Wehrheim), einem lichthärtenden Einkomponentenkunststoff auf Methacrylatbasis. Die Aushärtung dauerte 10 Stunden und erfolgte in einem Polymerisationsautomaten mit sichtbarem Licht von ringförmigen Leuchtstoffröhren mit Tageslichtcharakter (Histolux, Kulzer Exakt).

Anschließend erfolgte das Einbetten der Zahnkronen in vorgefertigte Acrylglaszylinder (Durchmesser außen: 16 mm, innen: 12 mm, Höhe: 30 mm). Dabei wurden die mesialen Approximalflächen mit einem Isocyanatkleber (Sekundenkleber, Pattex, Fa. Henkel, Düsseldorf) an der Zylinderinnenwand fixiert. Um ein späteres räumliches Zuordnen der Schnittebenen zu den jeweiligen Messpunkten zu ermöglichen, wurde jeweils parallel zur Okklusalfäche ein Messdreieck aus einer blauen Farbfolie mit definierter Länge und definiertem Winkel (IbiClear PVC, 0,2 mm, Ibico, USA) den Acrylglaszylindern beigelegt (vgl. Tabelle 4.5). Somit wurde gewährleistet, dass nach einem Schneidevorgang jede Schnittebene einen Ausschnitt

aus diesem Dreieck in Form einer kleinen Farblinie enthielt (vgl. Tabelle 4.6). Als nächstes wurden die Einbettzylinder mit Technovit 7200 VLC befüllt und weitere 10 Stunden polymerisiert (Histolux).

Um einer Blasenbildung vorzubeugen, wurde der mit Monomer befüllte Zylinder unter Vakuum gesetzt. Jeweils fünf Zylinder mit den eingebetteten Zahnkronen wurden zusammen auf einer Acrylglasplatte (100 mm x 50 mm x 4 mm) durch Verschraubung befestigt, zum Sägen auf die Vakuumsaugplatte der Diamantbandsäge (Exakt, Hamburg) aufgelegt, angesaugt und solange beschnitten, bis die durch eine Miniaturstahlkugel markierte Distalfläche freigelegt wurde. Nun wurde der Sägevorgang unterbrochen und die Glasplatte von der Saugplatte entfernt und trocken gewischt. Auf der frisch angeschnittenen Fläche wurde ein Objektträger (Acrylatglas, 75 mm x 26 mm x 2 mm) angebracht. Die Glasplatte wurde erneut mit den Zylindern auf den Vakuumsaugtisch angelegt und angesaugt, um die erste Schnittebene mit zuvor fixiertem Objektträger zu erzeugen. Das Schneiden der Zahnkronen und das Aufkleben des Objektträgers auf die angeschnittene Fläche erfolgte solange, bis der letzte Zahnhartschnitt aus den Einbettzylindern geschliffen war.

Die Zähne wurden mit dem EXAKT-Trennschleifsystem (Fa. Exact, Hamburg) und einem mit Diamant belegten Edelstahlband (Körnung D46) mit der Stärke von 200 μm für Molaren und mit einer Dicke von 100 μm für Prämolaren in vestibulo-oraler Richtung, jeweils durch die kariösen Läsionen der eingebetteten Zähne geschnitten (vgl. Abbildung 4.5). Pro Zahnkrone wurden zwischen 11 bis 15 Schnitte angefertigt (vgl. Abbildung 4.4). Das 3-dimensional orientierte Schneiden mit der Diamantband-Säge (Exakt) erfolgte bei den Molaren in einer Schrittweite von 720 μm ($\pm 30 \mu\text{m}$) und bei den kleineren Prämolaren in einer Schrittweite von 500 μm ($\pm 30 \mu\text{m}$). Die geschnittenen rauhen mit Schneideartefakten durchzogenen histologischen Proben wurden mit nassfestem Aluminiumoxid belegten Carborundum Schleifpapier (Fa. Hermes, Hamburg) der Körnung 1200, 2400 und 4000 bis zu einer Präparatdicke von 200 μm ($\pm 30 \mu\text{m}$) geschliffen und poliert. Nachgeprüft wurde dies mit einem digitalen Mikrometer (Anzeigegegenauigkeit von $\pm 1 \mu\text{m}$) der Firma Müller. Zuletzt erfolgte das Eindecken der Präparate mit Deckgläschen (Dicke: 135 μm , Durchmesser: 15 mm). Als Klebstoff wurde ein lichthärtender Kleber (Gemisch aus Technovit 7200 VLC und 7210 VLC) verwendet. Durch das Versiegeln konnte eine dauerhafte Konservierung der nicht entkalkten Präparate sowie deren Schutz vor Beschädigung gewährleistet werden. Aufbewahrt wurden die histologischen Präparate in speziell dafür vorgesehenen Präparatekästen.

Tabelle 4.4: Arbeitsschritte der Hartschnitt-Technik nicht entkalkter Zähne

1	Dehydratation des Dentins in einer aufsteigenden Ethanol-Reihe für 60 Stunden					
	Konzentration	40%	60%	80%	100%	100%
	Zeitdauer	12 h	12 h	12 h	12 h	12 h
2	Infiltration der Zähne mit kapillargängigem Acrylat-Monomer					
		Alkohol: Technovit			Technovit 7200	
	Konzentration	1:1			100%	
	Zeitdauer	24 h			36 h	
3	Zweistufige Lichtpolymerisation für 10 Stunden					
4	3-D-orientierte Kronenmontage unter Verwendung eines Messdreiecks definierter Länge und Winkel					
5	Einbetten der Kronen in Arylat-Einbettzylinder, Polymerisation und Montage von je 5 Proben auf eine Basisplatte aus Arylglas					
6	3-D-orientiertes Schneiden mit einer Diamantsäge mit aufgeklebten Objektträgern der Größe 75x26x2 mm					
		Molaren			Prämolaren	
	Schrittweite	720 μm ($\pm 30 \mu m$)			500 μm ($\pm 30 \mu m$)	
	Diamantbanddicke	200 μm			100 μm	
7	Schleifen und Politur der histologischen Schnitte					
		Körnung				
	Carborundum Schleifpapier	1200				
		2400				
		4000				
endgültige Präparatdicke	200 μm ($\pm 30 \mu m$)					
Kontrolle der Präparatdicke	digitaler Mikrometer					
8	Eindecken der Präparate mit 135 μm dicken Deckgläschen aus Mineralglas mit Technovit 7200 VLC und 7210 VLC					

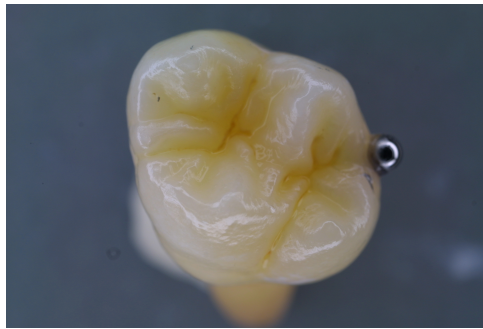


Abbildung 4.3: Okklusalfäche eines Zahnes vor der histologischen Aufbereitung

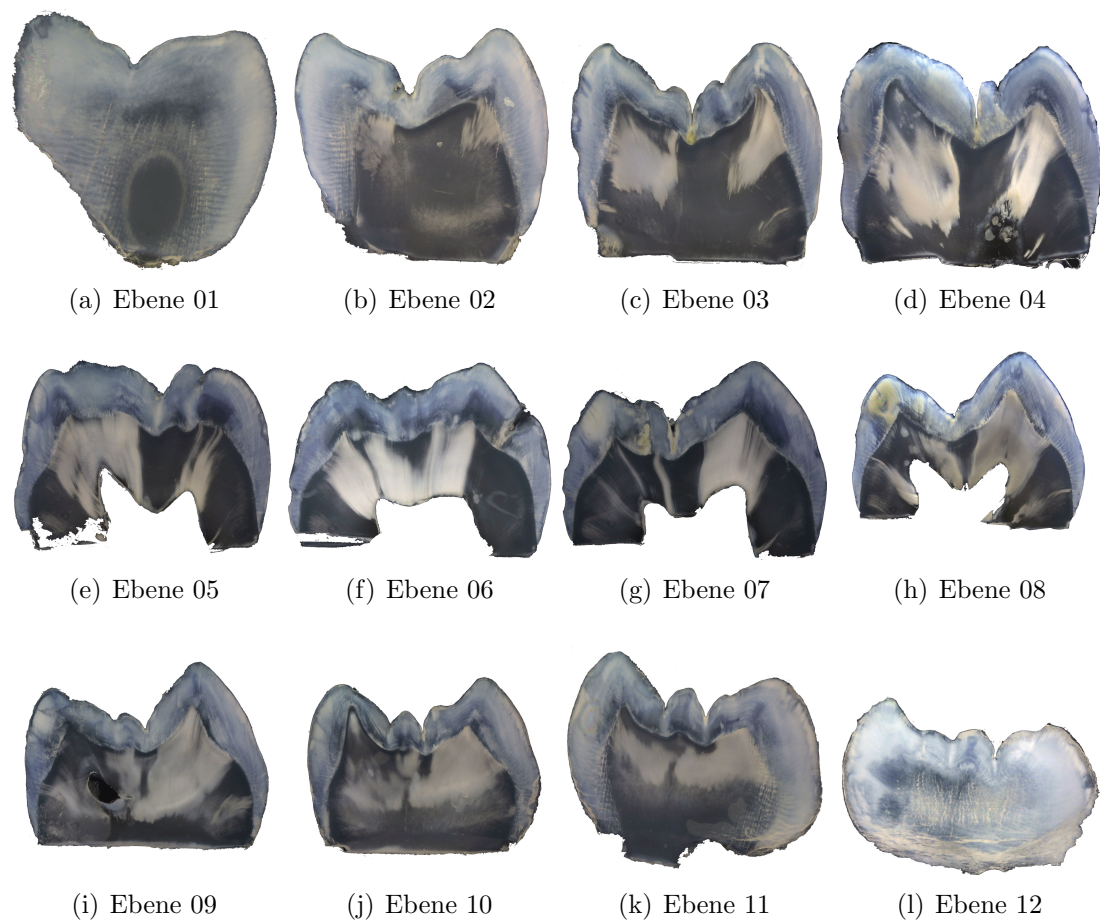
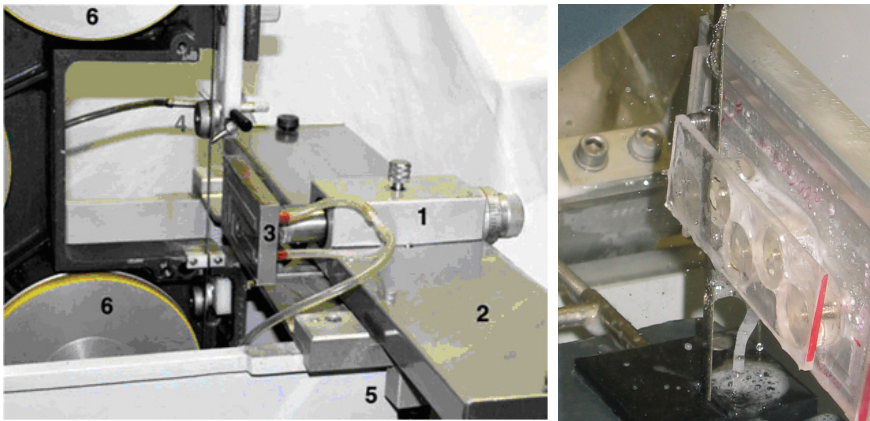


Abbildung 4.4: Schnittserie des Zahnes aus Abbildung 4.3



(a) Diamantbandsäge (Abbildung aus Stach-

niss und Schwarzbach (2009))

(b) Schneidevorgang

Abbildung 4.5: Schneiden der Präparate mit der Diamantbandsäge

4.4.6 Zuordnung der Hartschnitte zu den Messpunkten

Als Vorlage für die Zuordnung der Hartschnitte zu den Messpunkten (vgl. Tabelle 4.5, 4.6; Abbildung 4.6) diene ein standardisiertes Protokoll (Jablonski-Momeni et al., 2008a; Jablonski-Momeni und Stachniss, 2011).

Tabelle 4.5: Eigenschaften des eingebetteten Messdreiecks

Definition	Lage	Formel	Eigenschaft	Ergebnis
Ankathete zu α	Basis		$a = 9\text{ mm}$	
Gegenkathete zu α	Höhe		$b = 18\text{ mm}$	
Steigungswinkel α		$\tan \alpha = \frac{\text{Gegenkathete zu } \alpha}{\text{Ankathete zu } \alpha}$	$\tan \alpha = \frac{18}{9}$	$\alpha = 63,5^\circ$

Tabelle 4.6: geometrische Berechnung der Schnittebenenlage über der Montagefläche für die exakte Zuordnung der zu befindenden Messpunkte

ML	in mm messbare Länge im Präparat parallel zur Schnittebene, daher indirektes Maß für die Höhe der Schnittebene
H	Höhe der Schnittebene der Montagefläche des Zahnes
Formel	$\frac{H}{b} = \frac{(a-ML)}{a}$ $H = \frac{bx(a-ML)}{a}$ $H = \frac{18x(9-ML)}{9}$ $H = 2x(9 - ML)$
Beispiel	ML = 4,80 mm; $H = 2x(9-4,80) = 8,4\text{ mm}$ Der Schnitt liegt mit H = 8,4 mm über der Referenzfläche.

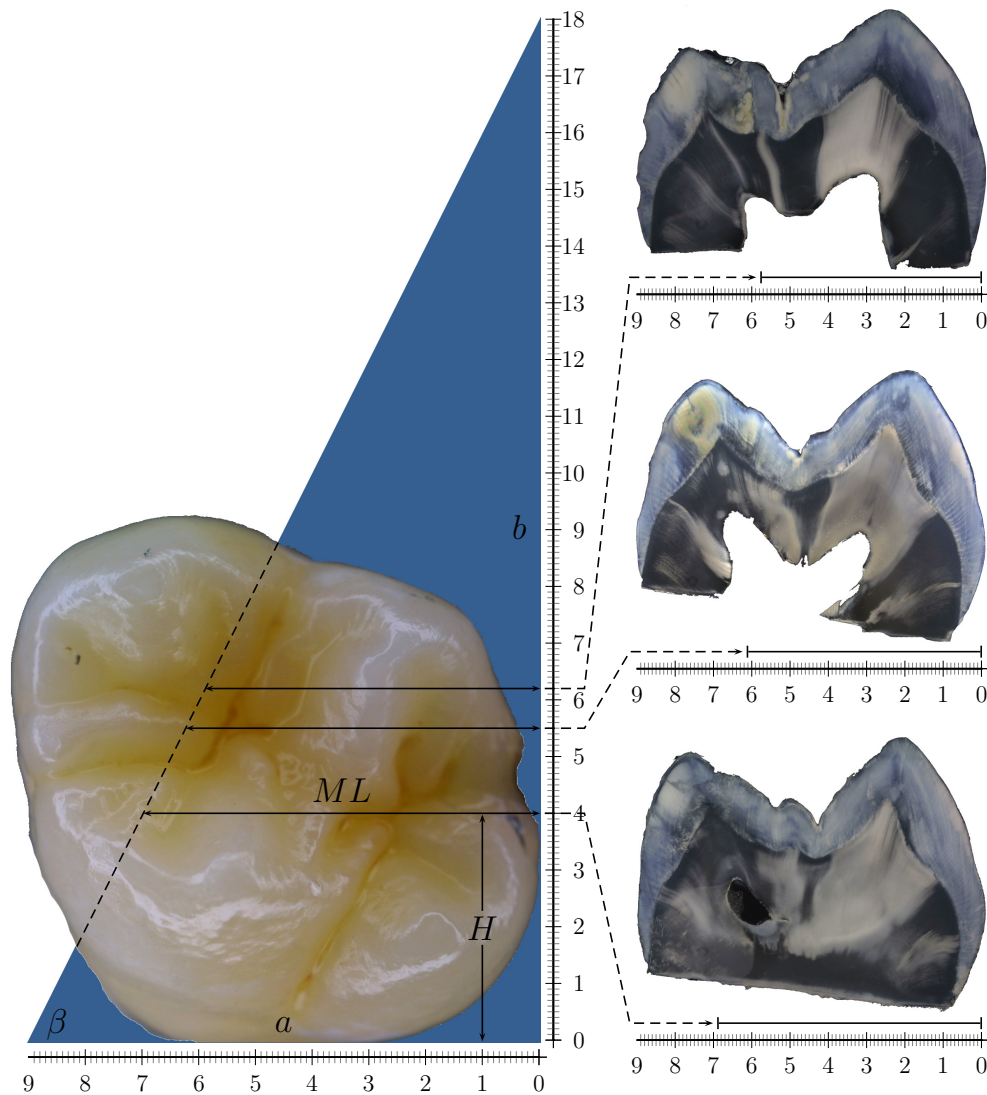


Abbildung 4.6: Schematische Darstellung der Lage des blauen Dreiecks und Zuordnung von Zahnhartschnitten zur Zahnebene

4.4.7 Digitale makrofotografische Reproduktion und Image Processing der Hartschnitte

Die Präparate wurden mit einer digitalen Kamera mit Makroobjektiv (Canon EOS D 30, MP-E, Brennweite 65 mm, Blende 9,0) bei einer Empfindlichkeit von ISO 100/21° und einer Belichtungszeit von 1/30 sec bei einem Abstand zum Motiv von 20 cm fotografiert. Die Schnittserie eines jeden Zahnes wurde mit der Kodierung und mit einem Glasmaßstab ergänzt und im schrägen Aufsicht einer Ringleuchte vor einem schwarzen Hintergrund digital makrofotografisch mit einer Auflösung von 3 Megapixel (MPixel) reproduziert und als JPEG Bilddaten archiviert. Bearbeitet wurden die Bilddaten mit dem Bildbearbeitungsprogramm Adobe Photoshop 8.0 Version CS. Durch die systematisch konstant durchgeführte Tonwertkorrektur

und Einstellung des Kontrastes und der Helligkeit konnte die Darstellung der morphologischen Eigenschaften der einzelnen Zahnhartschnitte optimiert werden. Um ein Hervorheben des Schnittes und ein Ausblenden von Störfaktoren zu erreichen, wurden die einzelnen Abbildungen der Zahnhartschnitte von ihrem im Original abgelichteten Hintergrund isoliert. Dabei wurden Überschussreste des Klebstoffes und kleine isolierte Zahnfragmente ausgeblendet. Zur besseren Beurteilung und Auswertung wurde ein schwarzer Hintergrund eingefügt und das gesamte Bild mit Hilfe des Scharfzeichnungsfilters (Stärke F5-90) unscharf maskiert. Bei Bedarf wurde auch eine Änderung des Toleranzwertes durchgeführt, um zu definieren, wie groß der Unterschied der Farbwerte sein durfte. Zur einheitlichen Auswertung sollte bei allen Bildern die distale Fläche nach links gerichtet sein. Um dies einzuhalten, wurde bei einigen Bildern eine Winkelkorrektur vorgenommen. Die bearbeiteten Bilddaten der Hartschnitte wurden als Kopie des Originals im Format JPEG komprimiert (Qualität 9 von maximal Qualität 12) und abgespeichert (vgl. Abbildung 4.7).

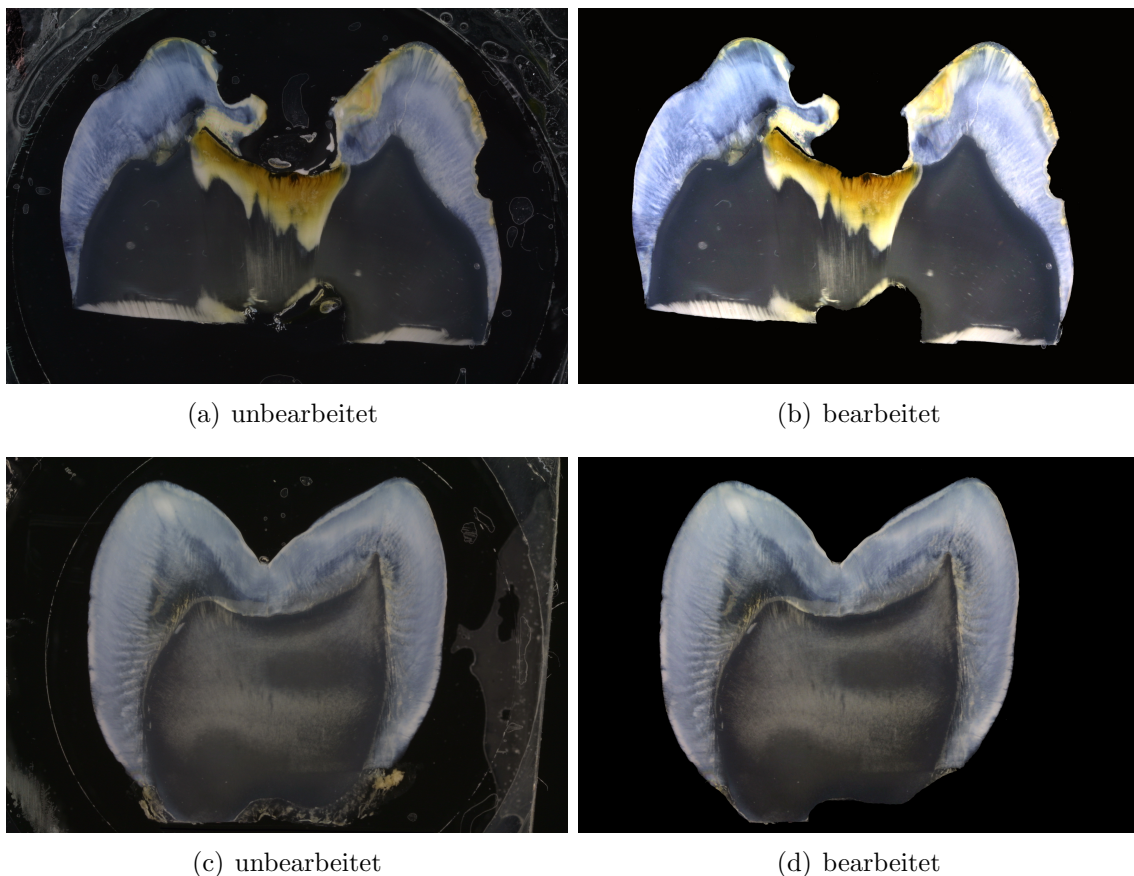


Abbildung 4.7: Digitalfotografische Reproduktion und Image Processing der Hartschnitte

4.5 Untersuchung

4.5.1 Randomisierung

Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde die Reihenfolge der zu untersuchenden Objekte durch die unterschiedlichen Verfahren für jeden Untersucher und jede Untersuchung computergestützt randomisiert.

4.5.2 Beurteilung der Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit

Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse erfolgte nach einer Woche eine zweite Untersuchung, bei der 30% der durch die unterschiedlichen Herstellungsverfahren angefertigten Objekte erneut beurteilt wurden.

4.5.3 Untersuchungskriterien

Die Einteilung des Ausmaßes der kariösen Läsion anhand der in dieser In-vitro-Studie verwendeten diversen röntgenologischen Verfahren erfolgte nach den Kriterien der radiologischen Klassifikation kariöser Läsionen nach Ekstrand et al. (1997).

Tabelle 4.7: Radiologische Klassifikation kariöser Läsionen nach Ekstrand et al.

Score	Definition
C 0	keine sichtbare Transluzenz
C 1	Transluzenz im Schmelz sichtbar
C 2	Transluzenz im äußeren Drittel des Dentins
C 3	Transluzenz bis zum mittleren Drittel des Dentins
C 4	Transluzenz im pulpanahen Drittel des Dentins

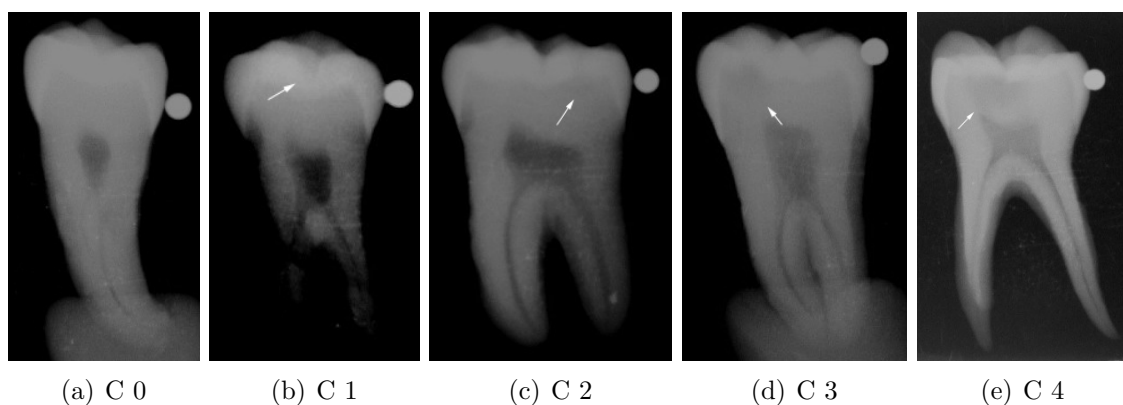


Abbildung 4.8: Beispiele kariöser Läsionen am Röntgenbild

Als Goldstandard dienten die Hartschnitte der nicht entkalkten Zahnkronen. Die Einteilung zur Beurteilung des Ausmaßes der kariösen Läsion anhand der in dieser In-vitro-Studie verwendeten Schliffpräparate und deren digitalfotografischen Reproduktion erfolgte nach den Kriterien des histological classification system nach Downer (1975), sowie nach den Kriterien des ERK histological classification system nach Ekstrand et al. (1997).

Tabelle 4.8: Kriterien der histologischen Untersuchung

Score	Downer	Ekstrand et al.
0	gesund	gesund
1	Schmelzkaries, beschränkt auf die äußere Schmelzhälfte	Schmelzkaries, beschränkt auf die äußere Schmelzhälfte
2	Schmelzkaries, erweitert bis zur inneren Schmelzhälfte	Schmelzkaries, erweitert bis zur inneren Schmelzhälfte und bis zum äußeren Drittel des Dentins
3	Dentinkaries, beschränkt auf die äußere Dentinhälfte	Dentinkaries, erweitert auf das mittlere Drittel des Dentins
4	Dentinkaries, beschränkt auf die innere Dentinhälfte	Dentinkaries, erweitert auf das pulpanahe Drittel des Dentins

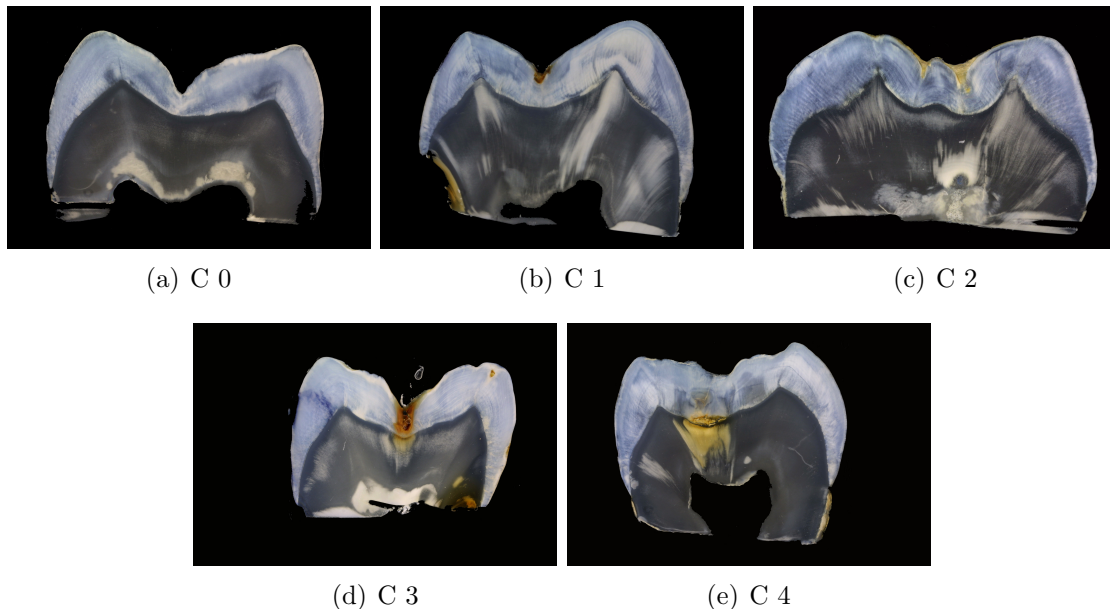


Abbildung 4.9: Beispiele kariöser Läsionen am histologischen Präparat, ausgewertet nach Downer

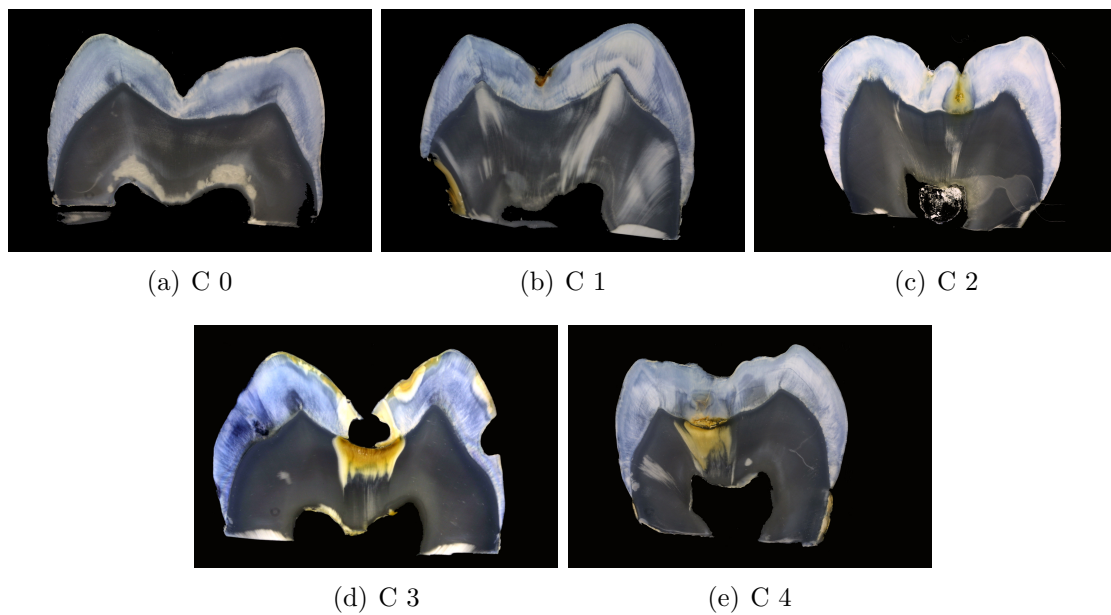


Abbildung 4.10: Beispiele kariöser Läsionen am histologischen Präparat, ausgewertet nach Ekstrand et al.

4.5.4 Befundung der konventionell hergestellten Röntgenbilder

Die Befundung der analogen Röntgenbilder fand an einem konventionellen Betrachter (Dentsply, Rinn Co., Elgin, USA) statt, der den Vorschriften nach DIN 6856-3 für radiologische Betrachtungsgeräte entsprach.

4.5.5 Befundung der digital hergestellten Röntgenbilder

Die digitalen Röntgenbilder wurden an einem geeichten und für die Bildbetrachtung zugelassenen 18-Zoll TFT-Farbmonitor (FlexScan L768, EIZO, Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal) unter Verwendung der Software des Digora-Systems für Bildbearbeitung mit den entsprechenden Bildbearbeitungstools zur besseren Erkennbarkeit der Aufnahmen ausgewertet. Als individuelle Veränderungen waren Einstellungen im Bereich Kontrast, Helligkeit und Größe der projizierten Röntgenbilder legitimiert. Die Röntgenaufnahmen wurden bei einer konstanten Betrachtungsdistanz von 60 cm befundet.

4.5.6 Befundung der digitalisierten konventionellen Röntgenbilder

Die Befundung erfolgte an einem geeichten und für die Bildbetrachtung zugelassenen 18-Zoll TFT-Farbmonitor (FlexScan L768, EIZO, Avnet Technology Solutions

GmbH, Nettetal) unter Verwendung der Software des Digora-Systems für Bildbearbeitung. Den Untersuchern standen zur besseren Erkennbarkeit die allgemeinen Bearbeitungstools der Software des Digora-Systems (Korrektur von Größe, Helligkeit und Kontrast) zur Verfügung. Die Röntgenaufnahmen wurden bei einer konstanten Betrachtungsdistanz von 60 cm analysiert.

4.5.7 Befundung der Dünnschliffpräparate

Die in der Studie zu untersuchenden Hartschnitt-Präparate wurden im schrägen Auflicht auf schwarzem Untergrund unter dem Auflichtmakroskop (Stereo-M 420, Wild Heerbrugg AG, Switzerland) bei einer 16-fachen Lupenvergrößerung befundet (vgl. Abbildung 4.11). Ausgeschlossen von der Befundung wurde sklerotisch verändertes Dentin, welches somit nicht in die Bewertung der kariösen Läsion mit einbezogen wurde. Aufgrund von Beschädigungen während des Schneidevorgangs und den damit verbundenen Schwierigkeiten bei der Tiefenbestimmung der kariösen Läsionen konnten zwei Messpunkte nicht ausgewertet werden. Es verblieben 179 Messpunkte histologischer Hartschliffpräparate. Statistisch dokumentiert wurde je Messpunkt der höchste Score der kariösen Läsion.

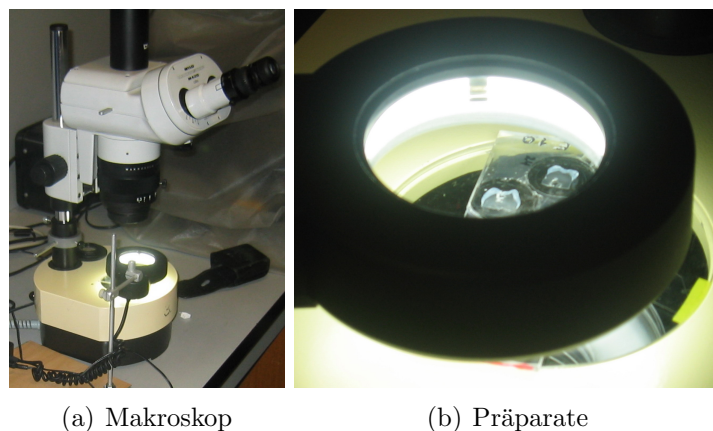


Abbildung 4.11: Untersuchung der Hartschnitte unter dem Auflichtmakroskop

4.5.8 Befundung der digitalen histologischen Makrofotografie

Die Befundung der digitalen Bilder erfolgte an einem speziell für die Befundung nach BWG DIN V 6868-57 und QS-Richtlinie geeichten 18-Zoll TFT-Farbmonitor (FlexScan L768, EIZO, Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal) unter Verwendung des Bildbearbeitungsprogramms Irfanview mit den entsprechenden Bearbeitungsfunktionen (Korrektur von Helligkeit, Kontrast und Größe) bei einer kon-

stanten Betrachtungsdistanz von 60 cm. Mit den Werkzeugen zur Markierung von Bildbereichen wurden die untersuchenden Messpunkte festgehalten.

4.6 Dokumentation

Auf geeigneten Auswertungsbögen (vgl. Anhang C.3) wurden die Werte der einzelnen Untersucher dokumentiert und in das Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel überführt.

4.7 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS (14.0) (Statistical Package of the Social Sciences). Die Graphen wurden mit R (2.13.0) für Linux erstellt (R Development Core Team, 2012). Als statistische Maße wurden Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman (r_s) (Spearman, 1904, 1987), Cohens Kappa (Cohen, 1960) und die Effektstärke (Cohen, 1992) berechnet. Für die Intra- und Inter-Untersucher-Übereinstimmungen wurden einfache und gewichtete Kappa-Werte mit den dazugehörigen 95% Konfidenzintervallen berechnet. Es wurde für die Berechnung der gewichteten Kappa-Werte die von Cicchetti und Allison standardisierte Gewichtung verwendet (Cicchetti und Allison, 1971).

4.7.1 Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman ist ein Maß für die Stärke eines monotonen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen (die Diagnosen der Untersucher), ohne dabei irgendwelche Annahmen über deren Wahrscheinlichkeitsverteilung zu machen. Spearmans Rho ist unempfindlich gegenüber Ausreißern und geht von einer Gleichabständigkeit (= Äquidistanz) zweier benachbarter Merkmalsausprägungen aus. Er kann bei gebundenen Rängen nicht sinnvoll angewendet werden, sondern nur bei halbwegs gleichen oder zufällig verteilten Rangabständen (Weiß, 2008).

Tabelle 4.9: Einteilung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Ricketts et al. (1998)

Rangkorrelationskoeffizient r_s	Definition
0 – 0,3	geringe Korrelation
0,3 – 0,7	moderate Korrelation
0,7 – 1,0	hohe Korrelation

4.7.2 Bestimmung der Intra- und Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit

Als Maß für die Reproduzierbarkeit wurde Cohens Kappa berechnet. Dieser beschreibt üblicherweise in einer nominalen Skala von 0,00 bis 1,00 den Grad der Übereinstimmung zwischen zwei verschiedenen Untersuchern, sowie den Grad der Übereinstimmung der Beurteilung jedes einzelnen Untersuchers zu zwei verschiedenen Zeitpunkten, die die gleiche Messmethode anwenden (Weiß, 2008).

Tabelle 4.10: Einteilung der Kappa-Werte nach Landis und Koch (1977)

Kappa-Wert	Grad der Übereinstimmung
<0,00	schlecht (poor)
0,00 – 0,20	gering (slight)
0,21 – 0,40	ausreichend (fair)
0,41 – 0,60	moderat (moderate)
0,61 – 0,80	substantiell (substantial)
0,81 – 1,00	fast perfekt (almost perfect)

4.7.3 Effektstärke

Die Effektstärke ist ein statistisches Maß, das die Stärke (praktische Bedeutsamkeit) eines Effektes einer Intervention angibt. Sie ist unabhängig von der Größe der Stichprobe (Cohen, 1992).

Tabelle 4.11: Definition der Effektstärke (Cohens d)

Effektstärke nach Cohens d	Definition
<0,2	kein Effekt
0,2 – 0,5	kleiner Effekt
0,5 – 0,8	mäßiger Effekt
>0,8	großer Effekt

5 Ergebnisse

5.1 Verteilung der Kariesstufen nach ICDAS-II

Die Kariesstufen verteilten sich nach der visuellen Diagnostik, welche in dieser In-vitro-Studie als Referenz diente, folgendermaßen auf die 181 Messpunkte:

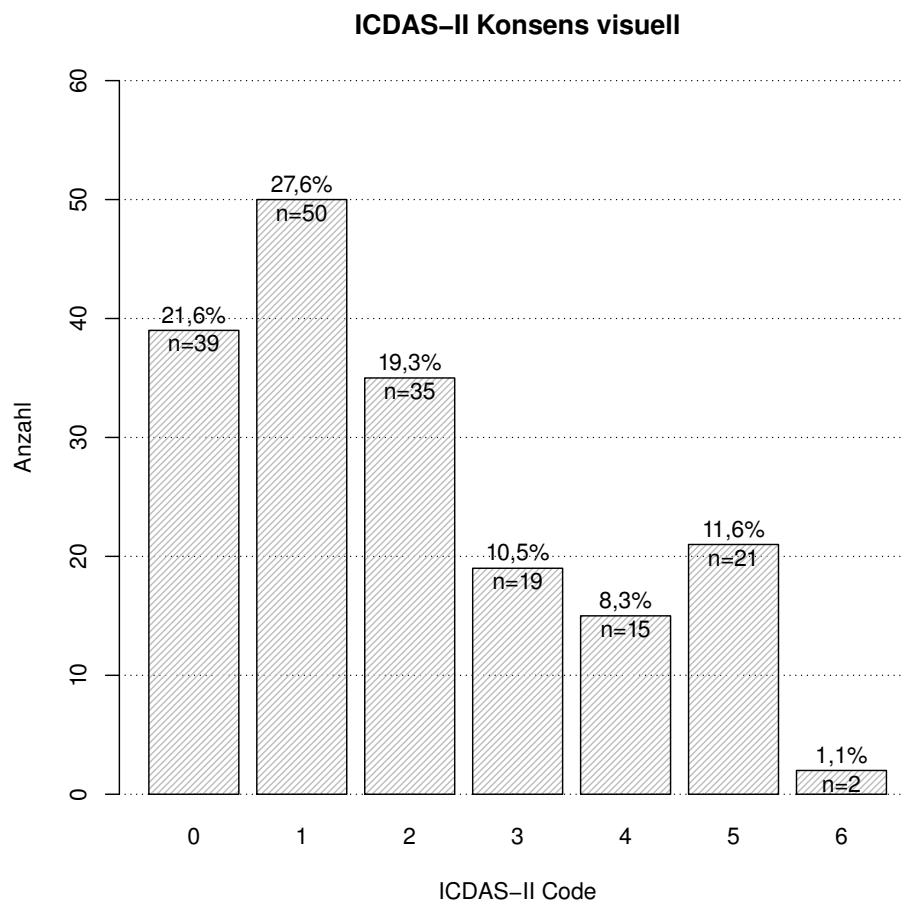


Abbildung 5.1: Kariesstufenverteilung der visuellen Diagnostik des Konsens der vier Primäruntersucher jeweils mit Anzahl (n) und Prozentangabe

5.2 Verteilung der verschiedenen Verfahren in Bezug zur Kariesstufenverteilung des ICDAS-II-Konsens

Für die Darstellung der verschiedenen Detektionsverfahren im Verhältnis zur visuellen Referenz (ICDAS-II) sind Kreuztabellen gewählt worden. In diesen ist die visuelle Referenz in der Horizontalen aufgetragen. In der Vertikalen ist jeweils eines der verwendeten Verfahren mit den jeweiligen Kariesstufen 0 bis 4 aufgetragen. Jedes Verfahren wird durch eine eigene Tabelle dargestellt.

5.2.1 Verteilung der Befunde der analogen Zahnfilme in Bezug zum ICDAS-II

In den Tabellen 5.1 und 5.2 sind die Ergebnisse der Befunde der analogen Röntgenaufnahmen den visuellen Befunden gegenübergestellt. Untersucher A konnte vier Messpunkte aufgrund von Überlagerungseffekten nicht bewerten. Diese wurden daraufhin als nicht beurteilbar eingestuft.

Tabelle 5.1: Verteilung visuelle und analoge röntgenologische Befunde für Untersucher A (Rö_ana_A) (Index nach Ekstrand et al.)

Rö_ana_A	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	28	14	8	1	1	0	0	52
1	4	20	16	7	2	1	0	50
2	7	12	9	9	6	6	1	50
3	0	2	2	0	3	7	0	14
4	0	0	0	0	3	7	1	11
n	39	48	35	17	15	21	2	177

Die in Tabelle 5.1 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 71,8% der Messpunkte (28 von 39 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS II Code 0 als gesund bewertet wurden, auch auf den analogen Röntgenaufnahmen als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 43,4% der Messpunkte (36 von 83), die bei der visuellen Untersuchung Schmelzveränderung ohne Diskontinuität der Schmelzoberfläche (ICDAS-II Code 1 bis 2) aufzeigten, wurden auch röntgenologisch als Schmelzläsion erkannt (violetteres Feld). 78,2% der Messpunkte (43 von 55), die visuell eine Diskontinuität der Schmelzoberfläche, eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS-II Code 3 bis 6), zeigten auch röntgenologisch eine Dentinläsion (Score 2 bis 4) (blaues Feld).

Tabelle 5.2: Verteilung visuelle und analoge röntgenologische Befunde für Untersucher B (Rö_ana_B) (Index nach Ekstrand et al.)

Rö_ana_B	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	10	9	1	0	0	0	0	20
1	28	28	26	11	5	4	1	103
2	1	13	7	8	6	8	0	43
3	0	0	1	0	3	6	0	10
4	0	0	0	0	1	3	1	5
n	39	50	35	19	15	21	2	181

Die in Tabelle 5.2 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 25,6% der Messpunkte (10 von 39 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS II Code 0 als gesund bewertet wurden, auch auf den analogen Röntgenaufnahmen als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 63,5% der Messpunkte (54 von 85), die bei der visuellen Untersuchung Schmelzveränderung ohne Diskontinuität der Schmelzoberfläche (ICDAS-II Code 1 bis 2) aufzeigten, wurden auch röntgenologisch als Schmelzläsion erkannt (violetttes Feld). 63,2% der Messpunkte (36 von 57), die visuell eine Diskontinuität der Schmelzoberfläche, eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS-II Code 3 bis 6), zeigten auch röntgenologisch eine Dentinläsion (Score 2 bis 4) (blaues Feld).

5.2.2 Verteilung der Befunde der digitalen Zahnfilme in Bezug zum ICDAS-II

In den Tabellen 5.3 und 5.4 sind die Ergebnisse der Befunde der digitalen Röntgenaufnahmen den visuellen Befunden gegenübergestellt. Aufgrund von Überlagerungseffekten der okklusalen Flächen konnte Untersucher A acht Messpunkte und Untersucher B zwei Messpunkte nicht bewerten. Daher wurden die fehlenden Messpunkte automatisiert durch das statistische Bearbeitungsprogramm als nicht beurteilbar eingestuft.

Tabelle 5.3: Verteilung visuelle und digitale röntgenologische Befunde für Untersucher A (Rö_digi_A) (Index nach Ekstrand et al.)

Rö_digi_A	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	31	23	8	2	0	1	1	66
1	3	12	11	8	3	3	0	40
2	3	12	11	7	8	7	0	48
3	0	1	1	2	2	4	0	10
4	0	0	1	0	2	5	1	9
n	37	48	32	19	15	20	2	173

Die in Tabelle 5.3 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 83,8% der Messpunkte (31 von 37 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS II Code 0 als gesund bewertet wurden, auch auf den digitalen Röntgenaufnahmen als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 28,8% der Messpunkte (23 von 80), die bei der visuellen Untersuchung Schmelzveränderung ohne Diskontinuität der Schmelzoberfläche (ICDAS-II Code 1 bis 2) aufzeigten, wurden auch röntgenologisch als Schmelzläsion erkannt (violetttes Feld). 67,9% der Messpunkte (38 von 56), die visuell eine Diskontinuität der Schmelzoberfläche, eine Schattenbildung im Dentin

oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS-II Code 3 bis 6), zeigten auch röntgenologisch eine Dentinläsion (Score 2 bis 4) (blaues Feld).

Tabelle 5.4: Verteilung visuelle und digitale röntgenologische Befunde für Untersucher B (Rö_digi_B) (Index nach Ekstrand et al.)

Rö_digi_B	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	1	0	0	0	0	0	0	1
1	29	30	19	9	3	0	1	91
2	9	16	14	6	6	8	0	59
3	0	4	1	3	5	5	0	18
4	0	0	0	1	1	7	1	10
n	39	50	34	19	15	20	2	179

Die in Tabelle 5.4 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 2,6% der Messpunkte (1 von 39 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS II Code 0 als gesund bewertet wurden, auch auf den digitalen Röntgenaufnahmen als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 58,3% der Messpunkte (49 von 84), die bei der visuellen Untersuchung Schmelzveränderung ohne Diskontinuität der Schmelzoberfläche (ICDAS-II Code 1 bis 2) aufzeigten, wurden auch röntgenologisch als Schmelzläsion erkannt (violetttes Feld). 76,8% der Messpunkte (43 von 56), die visuell eine Diskontinuität der Schmelzoberfläche, eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS-II Code 3 bis 6), zeigten auch röntgenologisch eine Dentinläsion (Score 2 bis 4) (blaues Feld).

5.2.3 Verteilung der Befunde der analog digitalen Zahnfilme in Bezug zum ICDAS-II

In den Tabellen 5.5 und 5.6 sind die Ergebnisse der Befunde der analog digitalen Röntgenaufnahmen den visuellen Befunden gegenübergestellt. Beide Untersucher konnten jeweils zwei Messpunkte aufgrund von Überlagerungseffekten der Okklusalfächen nicht bewerten. Statistisch wurden diese als nicht beurteilbar eingestuft.

Tabelle 5.5: Verteilung visuelle und analog digitale röntgenologische Befunde für Untersucher A (Rö_andi_A) (Index nach Ekstrand et al.)

Rö_andi_A	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	33	32	16	7	2	1	0	91
1	3	4	5	5	3	1	0	21
2	2	8	10	7	7	7	1	42
3	0	5	4	0	2	7	0	18
4	0	0	0	0	1	5	1	7
n	38	49	35	19	15	21	2	179

Die in Tabelle 5.5 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 86,8% der Messpunkte (33 von 38 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS-II Code 0 als gesund bewertet wurden, auch auf den analog digitalen Röntgenaufnahmen als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 10,7% der Messpunkte (9 von 84), die bei der visuellen Untersuchung Schmelzveränderung ohne Diskontinuität der Schmelzoberfläche (ICDAS-II Code 1 bis 2) aufzeigten, wurden auch röntgenologisch als Schmelzläsion erkannt (violetttes Feld). 66,7% der Messpunkte (38 von 57), die visuell eine Diskontinuität der Schmelzoberfläche, eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS-II Code 3 bis 6), zeigten auch röntgenologisch eine Dentinläsion (Score 2 bis 4) (blaues Feld).

Tabelle 5.6: Verteilung visuelle und analog digitale röntgenologische Befunde für Untersucher B (Rö_andi_B) (Index nach Ekstrand et al.)

Rö_andi_B	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	1	0	0	0	0	0	0	1
1	25	24	16	5	3	0	1	74
2	11	21	17	13	4	9	0	75
3	2	3	2	1	5	5	0	18
4	0	0	0	0	3	7	1	11
n	39	48	35	19	15	21	2	179

Die in Tabelle 5.6 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 2,6% der Messpunkte (1 von 39 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS II Code 0 als gesund bewertet wurden, auch auf den analog digitalen Röntgenaufnahmen als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 48,2% der Messpunkte (40 von 83), die bei der visuellen Untersuchung Schmelzveränderung ohne Diskontinuität der Schmelzoberfläche (ICDAS-II Code 1 bis 2) aufzeigten, wurden auch röntgenologisch als Schmelzläsion erkannt (violetttes Feld). 84,2% der Messpunkte (48 von 57), die

visuell eine Diskontinuität der Schmelzoberfläche, eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS-II Code 3 bis 6), zeigten auch röntgenologisch eine Dentinläsion (Score 2 bis 4) (blaues Feld).

5.2.4 Verteilung der histologischen Befunde am Makroskop in Bezug zum ICDAS-II

In den Tabellen 5.7, 5.8, 5.9 und 5.10 sind die Ergebnisse der histologischen Befunde den visuellen Befunden gegenübergestellt. Aufgrund von Schneideartefakten bei der Herstellung der histologischen Hartschnitte konnten zwei Messpunkte bei den histologischen Untersuchungen nicht befundet und bewertet werden. Somit konnten insgesamt 179 Messpunkte statistisch ausgewertet werden.

Tabelle 5.7: Verteilung visuelle Bewertung und histologische Befunde am Makroskop nach Downer (1975) für Untersucher A (Hist_Ma_Downer_A)

Hist_Ma_Downer_A	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	28	15	6	2	3	4	0	58
1	8	17	6	0	1	1	0	33
2	3	9	14	6	1	0	1	34
3	0	7	8	11	8	12	0	46
4	0	0	1	0	2	4	1	8
n	39	48	35	19	15	21	2	179

Die in Tabelle 5.7 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 71,8% der Messpunkte (28 von 39 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS-II Code 0 als gesund bewertet wurden, auch histologisch als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 55,4% der Messpunkte (46 von 83), die bei der visuellen Untersuchung Veränderungen im Schmelz ohne Strukturverlust oder Kavitätenausbildung (ICDAS-II Code 1 bis 2) aufzeigten, wurden auch histologisch als Schmelzläsion erkannt (violette Feld). 66,7% der Messpunkte (38 von 57), die visuell eine Diskontinuität der Schmelzoberfläche, eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS II Code 3 bis 6), zeigten auch histologisch eine Dentinläsion (Score 3 bis 4) (blaues Feld).

Tabelle 5.8: Verteilung visuelle Bewertung und histologische Befunde am Makroskop nach Downer (1975) für Untersucher B (Hist_Ma_Downer_B)

Hist_Ma_Downer_B	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	14	8	2	2	0	1	0	27
1	12	10	5	0	0	1	0	28
2	10	22	16	4	1	2	1	56
3	2	7	10	13	11	11	0	54
4	1	1	2	0	3	6	1	14
n	39	48	35	19	15	21	2	179

Die in Tabelle 5.8 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 35,9% der Messpunkte (14 von 39 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS-II Code 0 als gesund bewertet wurden, auch histologisch als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 63,9% der Messpunkte (53 von 83), die bei der visuellen Untersuchung Veränderungen im Schmelz ohne Strukturverlust oder Kavitätenausbildung (ICDAS-II Code 1 bis 2) aufzeigten, wurden auch histologisch als Schmelzläsion erkannt (violetteres Feld). 79,0% der Messpunkte (45 von 57), die visuell eine Diskontinuität der Schmelzoberfläche, eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS II Code 3 bis 6), zeigten auch histologisch eine Dentinläsion (Score 3 bis 4) (blaues Feld).

Anhand der histologischen Klassifikation nach Ekstrand et al. ist keine genaue Trennung und Differenzierung zwischen Schmelz- und Dentinkaries an der Schmelz-Dentin-Grenze möglich. Daher wurde bei der Erklärung der nachfolgenden Kreuztabellen speziell auf diejenigen Messpunkte eingegangen, die visuell einen Verlust der Schmelzstruktur (ICDAS-II Code 3) aufzeigten.

Tabelle 5.9: Verteilung visuelle Bewertung und histologische Befunde am Makroskop nach Ekstrand et al. (1997) für Untersucher A (Hist_Ma_ERK_A)

Hist_Ma_ERK_A	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	28	15	6	2	3	4	0	58
1	8	17	6	0	1	1	0	33
2	3	15	21	15	3	9	1	67
3	0	1	2	2	7	4	0	16
4	0	0	0	0	1	3	1	5
n	39	48	35	19	15	21	2	179

Die in Tabelle 5.9 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 71,8% der Messpunkte (28 von 39 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS-II Code 0 als gesund bewertet wurden, auch histologisch als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 79,0% der Messpunkte (15 von 19), die nach ICDAS II Code 3 visuell einen Verlust der Schmelzstruktur aufzeigten, zeigten auch histologisch eine Schmelzkaries oder eine kariöse Läsion bis ins erste Drittel des Dentins (Score 1 bis 2) (violetteres Feld), während 10,5% dieser nach ICDAS-II Code 3 definierten Messpunkte (2 von 19) tiefere Dentinläsionen aufzeigten (Score 3 bis 4) (grünes Feld). 42,1% der Messpunkte (16 von 38), die visuell eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS-II Code 4 bis 6), zeigten auch histologisch eine sehr tiefe Dentinläsion (Score 3 bis 4) (blaues Feld).

Tabelle 5.10: Verteilung visuelle Bewertung und histologische Befunde am Makroskop nach Ekstrand et al. (1997) für Untersucher B (Hist_Ma_ERK_B)

Hist_Ma_ERK_B	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	14	8	2	2	0	1	0	27
1	12	10	5	0	0	1	0	28
2	12	28	26	16	12	11	1	106
3	1	1	2	1	1	5	0	11
4	0	1	0	0	2	3	1	7
n	39	48	35	19	15	21	2	179

Die in Tabelle 5.10 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 35,9% der Messpunkte (14 von 39 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS-II Code 0 als gesund bewertet wurden auch histologisch als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 84,2% der Messpunkte (16 von 19), die nach ICDAS-II Code 3 visuell einen Verlust der Schmelzstruktur aufzeigten, zeigten auch histologisch eine Schmelzkaries oder eine kariöse Läsion bis ins erste Drittel des Dentins (Score 1 bis 2) (violetteres Feld), während 5,3% dieser nach ICDAS-II Code 3 definierten Messpunkte (1 von 19) tiefere Dentinläsionen aufzeigten (Score 3 bis 4) (grünes Feld). 31,6% der Messpunkte (12 von 38), die visuell eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS-II Code 4 bis 6), zeigten auch histologisch eine sehr tiefe Dentinläsion (Score 3 bis 4) (blaues Feld).

5.2.5 Verteilung der Befunde der digitalfotografischen Reproduktion am Monitor in Bezug zum ICDAS-II

In den Tabellen 5.11, 5.12, 5.13 und 5.14 sind die Ergebnisse der digitalisierten histologischen Befunde den visuellen Befunden gegenübergestellt. Aufgrund von Schnei-

deartefakten bei der Herstellung der histologischen Hartschnitte, konnten 2 Messpunkte bei den digitalisierten histologischen Untersuchungen nicht befundet werden. Somit konnten insgesamt 179 Messpunkte statistisch ausgewertet werden.

Tabelle 5.11: Verteilung visuelle Bewertung und Befunde der digitalisierten Histologie nach Downer (1975) für Untersucher A (Hist_Di_Downer_A)

Hist_Di_Downer_A	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	20	12	3	1	2	4	0	40
1	15	12	6	0	0	1	0	34
2	4	16	13	3	0	0	1	37
3	0	8	12	15	8	9	0	52
4	0	0	1	0	5	9	1	16
n	39	48	35	19	15	21	2	179

Die in Tabelle 5.11 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 51,3% der Messpunkte (20 von 39 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS II Code 0 als gesund bewertet wurden, auch digital histologisch als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 56,6% der Messpunkte (47 von 83), die bei der visuellen Untersuchung Veränderungen im Schmelz ohne Strukturverlust oder Kavitätenausbildung (ICDAS-II Code 1 bis 2) aufzeigten, wurden auch histologisch als Schmelzläsion erkannt (violetteres Feld). 82,5% der Messpunkte (47 von 57), die visuell eine Diskontinuität der Schmelzoberfläche, eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS-II Code 3 bis 6), zeigten auch digital histologisch eine Dentinläsion (Score 3 bis 4) (blaues Feld).

Tabelle 5.12: Verteilung visuelle Bewertung und Befunde der digitalisierten Histologie nach Downer (1975) für Untersucher B (Hist_Di_Downer_B)

Hist_Di_Downer_B	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	10	4	0	2	1	1	0	18
1	15	12	7	0	2	3	0	39
2	14	22	20	5	2	1	1	65
3	0	10	7	12	8	11	1	49
4	0	0	1	0	2	5	0	8
n	39	48	35	19	15	21	2	179

Die in Tabelle 5.12 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 25,6% der Messpunkte (10 von 39 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS II Code 0 als gesund bewertet wurden, auch digital histologisch als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 73,5% der Messpunkte (61 von 83), die bei der

visuellen Untersuchung Veränderungen im Schmelz ohne Strukturverlust oder Kavitätsausbildung (ICDAS-II Code 1 bis 2) aufzeigten, wurden auch histologisch als Schmelzläsion erkannt (violetter Feld). 68,4% der Messpunkte (39 von 57), die visuell eine Diskontinuität der Schmelzoberfläche, eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS-II Code 3 bis 6), zeigten auch digital histologisch eine Dentinläsion (Score 3 bis 4) (blaues Feld).

Tabelle 5.13: Verteilung visuelle Bewertung und Befunde der digitalisierten Histologie nach Ekstrand et al. (1997) für Untersucher A (Hist_Di_ERK_A)

Hist_Di_ERK_A	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	20	13	3	1	1	2	0	40
1	15	11	6	0	0	1	0	33
2	4	21	25	16	6	6	1	79
3	0	3	1	2	6	6	1	19
4	0	0	0	0	2	6	0	8
n	39	48	35	19	15	21	2	179

Die in Tabelle 5.13 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 51,3% der Messpunkte (20 von 39 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS II Code 0 als gesund bewertet wurden, auch digital histologisch als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 84,2% der Messpunkte (16 von 19), die nach ICDAS-II Code 3 visuell einen Verlust der Schmelzstruktur aufzeigten, zeigten auch histologisch eine Schmelzkaries oder eine kariöse Läsion bis ins erste Drittel des Dentins (Score 1 bis 2) (violetter Feld), während 10,5% dieser nach ICDAS-II Code 3 definierten Messpunkte (2 von 19) tiefere Dentinläsionen aufzeigten (Score 3 bis 4) (grünes Feld). 55,3% der Messpunkte (21 von 38), die visuell eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS-II Code 4 bis 6), zeigten auch histologisch eine sehr tiefe Dentinläsion (Score 3 bis 4) (blaues Feld).

Tabelle 5.14: Verteilung visuelle Bewertung und Befunde der digitalisierten Histologie nach Ekstrand et al. (1997) für Untersucher B (Hist_Di_ERK_B)

Hist_Di_ERK_B	ICDAS-II Scores							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	10	4	0	2	1	1	0	18
1	16	12	7	0	2	3	0	40
2	13	32	27	17	9	8	1	107
3	0	0	1	0	2	7	1	11
4	0	0	0	0	1	2	0	3
n	39	48	35	19	15	21	2	179

Die in Tabelle 5.14 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass 25,6% der Messpunkte (10 von 39 Messpunkten), die durch die visuelle Untersuchung nach ICDAS II Code 0 als gesund bewertet wurden, auch digital histologisch als gesund eingestuft wurden (hellgraues Feld). 89,5% der Messpunkte (17 von 19), die nach ICDAS-II Code 3 visuell einen Verlust der Schmelzstruktur aufzeigten, zeigten auch histologisch eine Schmelzkaries oder eine kariöse Läsion bis ins erste Drittel des Dentins (Score 1 bis 2) (violetteres Feld), während 0 % dieser nach ICDAS-II Code 3 definierten Messpunkte (0 von 19) tiefere Dentinläsionen aufzeigten (Score 3 bis 4) (grünes Feld). 34,2% der Messpunkte (13 von 38), die visuell eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufzeigten (ICDAS-II Code 4 bis 6), zeigten auch histologisch eine sehr tiefe Dentinläsion (Score 3 bis 4) (blaues Feld).

5.3 Röntgenologische Erfassung der okklusalen Karies

Für die Darstellung der verschiedenen röntgenologischen Verfahren, bewertet nach dem Klassifikationssystem nach Ekstrand et al., sind Kreuztabellen gewählt worden. Durch Überlagerungseffekte der okklusalen Flächen auf den Röntgenaufnahmen konnten einzelne Messpunkte durch die Untersucher A und B nicht bewertet werden. Diese Messpunkte wurden von der statistischen Auswertung ausgeschlossen.

5.3.1 Vergleich der Kariesverteilung zwischen den analogen und den digitalen Röntgenbefunden

Zwischen den beiden Verfahren fanden sich folgende Übereinstimmungen:

45,9% bei Untersucher A, 54,2% bei Untersucher B.

Tabelle 5.15: Kreuztabelle analoge Röntgenbefunde versus digitale Röntgenbefunde für Untersucher A und B, beurteilt nach Ekstrand et al.

Untersucher A						
digital	analog					n
	0	1	2	3	4	
0	32	16	16	1	0	65
1	7	19	11	1	0	38
2	11	10	18	7	2	48
3	0	0	4	3	3	10
4	0	1	0	2	6	9
n	50	46	49	14	11	170

Untersucher B						
digital	analog					n
	0	1	2	3	4	
0	0	1	0	0	0	1
1	12	68	11	0	0	91
2	8	30	20	1	0	59
3	0	3	7	6	2	18
4	0	1	3	3	3	10
n	20	103	41	10	5	179

5.3.2 Vergleich der Kariesverteilung zwischen den analogen und den analog digitalen Röntgenbefunden

Zwischen den beiden Verfahren fanden sich folgende Übereinstimmungen:
46,9% bei Untersucher A, 48,1% bei Untersucher B.

Tabelle 5.16: Kreuztabelle analoge Röntgenbefunde versus analog digitale Befunde für Untersucher A und B, beurteilt nach Ekstrand et al.

Untersucher A						
analog-digital	analog					n
	0	1	2	3	4	
0	42	27	19	0	0	88
1	6	8	5	1	0	20
2	2	12	21	7	0	42
3	0	3	5	5	5	18
4	0	0	0	1	6	7
n	50	50	50	14	11	175

Untersucher B						
analog-digital	analog					n
	0	1	2	3	4	
0	0	1	0	0	0	1
1	14	51	9	0	0	74
2	6	42	26	1	0	75
3	0	6	8	4	0	18
4	0	1	0	5	5	11
n	20	101	43	10	5	179

5.3.3 Vergleich der Kariesverteilung zwischen den digitalen und den analog digitalen Röntgenbefunden

Zwischen den beiden Verfahren fanden sich folgende Übereinstimmungen:
48,5% bei Untersucher A, 54,8% bei Untersucher B.

Tabelle 5.17: Kreuztabelle digitale Röntgenbefunde versus analog digitale Befunde für Untersucher A und B, beurteilt nach Ekstrand et al.

Untersucher A						
analog-digital	digital					n
	0	1	2	3	4	
0	50	21	14	1	0	86
1	3	6	9	2	0	20
2	7	11	19	2	2	41
3	4	2	6	3	2	17
4	0	0	0	2	5	7
n	64	40	48	10	9	171

Untersucher B						
analog-digital	digital					n
	0	1	2	3	4	
0	0	0	1	0	0	1
1	1	55	31	2	0	89
2	0	17	33	9	0	59
3	0	2	8	3	5	18
4	0	0	1	3	6	10
n	1	74	74	17	11	177

5.4 Histologische Erfassung der okklusalen Karies

Für die Darstellung der Histologie sind Kreuztabellen gewählt worden. Aufgrund einer schlechten Bildqualität konnten jedoch bei der histologischen Auswertung zwei Messpunkte nicht befundet und somit nicht statistisch bewertet werden.

5.4.1 Vergleich zwischen der direkten Makroskopie und der Bewertung der digitalfotografischen Reproduktion, beurteilt nach Downer

Für die Histologie, bewertet nach Downer, fanden sich zwischen den beiden Verfahren folgende Übereinstimmungen (vgl. Tabelle 5.18):

73,2% bei Untersucher A, 72,6% bei Untersucher B.

Tabelle 5.18: Kreuztabelle histologische Befunde am Makroskop versus der am Monitor ermittelten Befunde der digitalisierten Histologie für Untersucher A und B, beurteilt nach Downer

Untersucher A						
Digital	Mikroskop					n
	0	1	2	3	4	
0	35	4	1	0	0	40
1	12	22	0	0	0	34
2	7	5	25	0	0	37
3	2	1	8	41	0	52
4	2	1	0	5	8	16
n	58	33	34	46	8	179

Untersucher B						
Digital	Mikroskop					n
	0	1	2	3	4	
0	15	1	2	0	0	18
1	9	23	3	4	0	39
2	3	3	48	10	1	65
3	0	1	3	38	7	49
4	0	0	0	2	6	8
n	27	28	56	54	14	179

5.4.2 Vergleich zwischen der direkten Makroskopie und der Bewertung der digitalfotografischen Reproduktion, beurteilt nach Ekstrand et al.

Für die Histologie, bewertet nach Ekstrand et al., fanden sich zwischen den beiden Verfahren folgende Übereinstimmungen (vgl. Tabelle 5.19):

72,1% bei Untersucher A, 78,8% bei Untersucher B.

Tabelle 5.19: Kreuztabelle histologische Befunde am Makroskop versus der am Monitor ermittelten Befunde der digitalisierten Histologie für Untersucher A und B, beurteilt nach Ekstrand et al.

Untersucher A						
Digital	Mikroskop					n
	0	1	2	3	4	
0	34	5	1	0	0	40
1	12	21	0	0	0	33
2	9	5	60	5	0	79
3	1	2	5	10	1	19
4	2	0	1	1	4	8
n	58	33	67	16	5	179

Untersucher B						
Digital	Mikroskop					n
	0	1	2	3	4	
0	15	1	2	0	0	18
1	9	24	7	0	0	40
2	3	3	95	5	1	107
3	0	0	2	5	4	11
4	0	0	0	1	2	3
n	27	28	106	11	7	179

5.4.3 Vergleich der direkten Makroskopie beurteilt nach Downer versus Ekstrand et al.

Für die Histologie, bewertet nach Downer versus Ekstrand et al., fanden sich folgende Übereinstimmungen (vgl. Tabelle 5.20):

79,9% bei Untersucher A, 68,2% bei Untersucher B.

Tabelle 5.20: Kreuztabelle histologische Befunde am Makroskop für Untersucher A und B, beurteilt nach Downer versus Ekstrand et al.

Untersucher A							Untersucher B						
Ekstrand	Downer					n	Ekstrand	Downer					n
	0	1	2	3	4			0	1	2	3	4	
0	58	0	0	0	0	58	0	27	0	0	0	0	27
1	0	33	0	0	0	33	1	0	28	0	0	0	28
2	0	0	34	33	0	67	2	0	0	56	50	0	106
3	0	0	0	13	3	16	3	0	0	0	4	7	11
4	0	0	0	0	5	5	4	0	0	0	0	7	7
n	58	33	34	46	8	179	n	27	28	56	54	14	179

5.4.4 Vergleich digitalfotografische Reproduktion, beurteilt nach Downer versus Ekstrand et al.

Für die Histologie, bewertet nach Downer versus Ekstrand et al., fanden sich folgende Übereinstimmungen (vgl. Tabelle 5.21):

71,5% bei Untersucher A, 72,6% bei Untersucher B.

Tabelle 5.21: Kreuztabelle histologische Befunde am Bildschirm für Untersucher A und B, beurteilt nach Downer versus Ekstrand et al.

Untersucher A							Untersucher B						
Ekstrand	Downer					n	Ekstrand	Downer					n
	0	1	2	3	4			0	1	2	3	4	
0	39	1	0	0	0	40	0	18	0	0	0	0	18
1	0	33	0	0	0	33	1	0	39	1	0	0	40
2	1	0	37	41	0	79	2	0	0	64	43	0	107
3	0	0	0	11	8	19	3	0	0	0	6	5	11
4	0	0	0	0	8	8	4	0	0	0	0	3	3
n	40	34	37	52	16	179	n	18	39	65	49	8	179

5.5 Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman der einzelnen Verfahren

In der folgenden Tabelle 5.22 sind die Korrelationskoeffizienten nach Spearman der eingesetzten Verfahren aufgelistet. Die Korrelationen sind alle auf dem Niveau von $p < 0,01$ signifikant (zweiseitige Testung).

Tabelle 5.22: Spearman Werte der Untersucher und der Verfahren im Überblick

Diagnostik	Spearman r_s	
	A	B
ICDAS-II vs. Rö_ana	0,593	0,551
ICDAS-II vs. Rö_digi	0,558	0,449
ICDAS-II vs. Rö_andi	0,552	0,456
ICDAS-II vs. Hist_Ma_Downer	0,533	0,563
ICDAS-II vs. Hist_Ma_ERK	0,571	0,508
ICDAS-II vs. Hist_Di_Downer	0,611	0,488
ICDAS-II vs. Hist_Di_ERK	0,634	0,465
Rö_ana vs. Rö_digi	0,414	0,483
Rö_digi vs. Rö_andi	0,447	0,485
Rö_ana vs. Rö_andi	0,556	0,487
Hist_Ma_Downer vs. Hist_Di_Downer	0,817	0,826
Hist_Ma_ERK vs. Hist_Di_ERK	0,742	0,821
Hist_Ma_Downer vs. Hist_Ma_ERK	0,964	0,902
Hist_Di_Downer vs. Hist_Di_ERK	0,936	0,892

Aus der oben angeführten Tabelle ist zu entnehmen, dass die Diagnosen der Radiographie (analog vs. digital vs. analog-digital) nach Ricketts et al. (1998) moderat miteinander korrelieren. Die Diagnosen der histologischen Hartschnitte versus der digitalfotografischen Reproduktionen korrelieren nach Ricketts et al. (1998) hoch. Die aufgeführten Korrelationskoeffizienten nach Spearman zeigen auch für die beiden histologischen Klassifikationen eine hohe Korrelation.

5.6 Kappa-Werte und Effektstärken

In den folgenden Tabellen 5.23 und 5.24 sind die gewichteten und ungewichteten Intra-Untersucher und Inter-Untersucher Kappa-Werte und die Werte der Effektstärke für die histologischen Untersuchungen aufgelistet.

Tabelle 5.23: Übersicht der Intra-Untersucher Reliabilität (gewichteter und ungewichteter Kappa-Wert) und der Effektstärken für die beiden histologischen Verfahren, befundet nach den Kriterien nach Downer und nach Ekstrand et al.

	gewichteter (ungewichteter) Kappa		Effektstärke für gewichteten (ungewichteten) Kappa-Wert	
	A	B	A	B
Hist_Ma_Downer	0,857 (0,791)	0,695 (0,570)	0,05 (0,02)	0,15 (0,09)
Hist_Di_Downer	0,835 (0,781)	0,780 (0,677)		
Hist_Ma_ERK	0,826 (0,776)	0,615 (0,520)	0,12 (0,15)	0,48 (0,45)
Hist_Di_ERK	0,882 (0,852)	0,854 (0,808)		

Die Tabelle 5.23 zeigt die gewichteten und einfachen Kappa-Werte für die histologischen Untersuchungen für die Intra-Untersucher Reliabilität. Anhand der Ergebnisse wird deutlich, dass sich die gewichteten Intra-Untersucher Kappa-Werte der zwei Untersuchungsverfahren und der beiden histologischen Klassifikationen nur geringfügig unterscheiden und dass eine substantielle bis fast perfekte Reproduzierbarkeit der histologischen Untersuchungen vorliegt. Für Untersucher A liegen alle gewichteten Kappa-Werte in dem Bereich, der als fast perfekt zu bezeichnen ist. Die Ergebnisse der gewichteten Kappa-Werte für die nach Downer befundeten beiden Verfahren von Untersucher B liegen in dem Bereich, der als substantiell bezeichnet wird. Eine substantielle bis fast perfekte Reproduzierbarkeit zeigen die gewichteten Kappa-Werte für die nach Ekstrand et al. befundeten beiden Verfahren für Untersucher B. Für Untersucher B ist bei den beiden digitalisierten histologischen Untersuchungen eine höhere Konstanz im Vergleich zu den beiden histologischen Untersuchungen zu erkennen. Die Ergebnisse der Effektstärke für die histologischen Untersuchungen und die beiden histologischen Klassifikationen zeigen für Untersucher A keinen und für Untersucher B einen kleinen Effekt.

Die 95% Konfidenzintervalle der Kappa-Werte für die Intra-Untersucher Reliabilität sind in den Abbildungen 5.2 und 5.3 dargestellt.

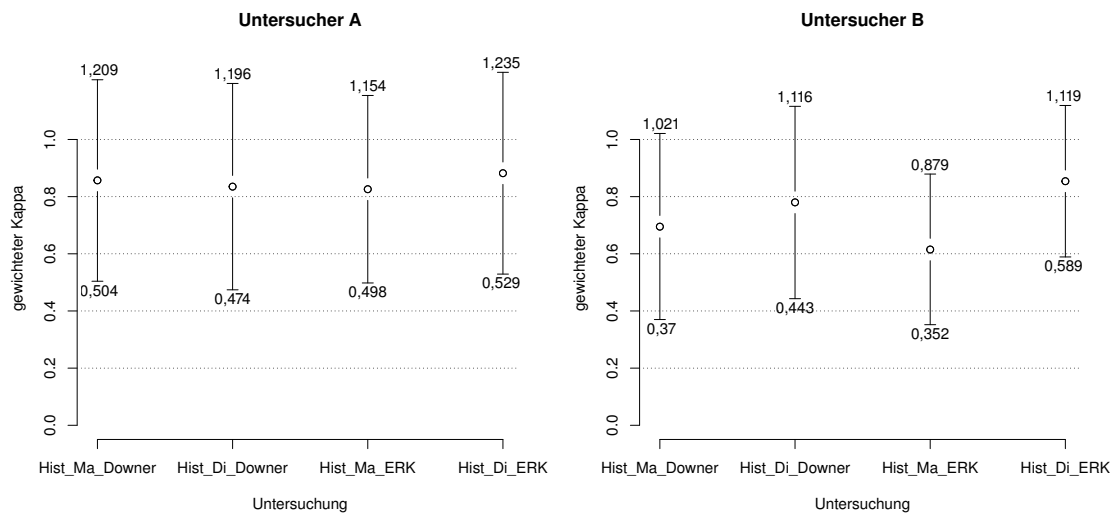


Abbildung 5.2: 95% Konfidenzintervall (KI) der gewichteten Kappa-Werte der einzelnen Verfahren für Untersucher A und B

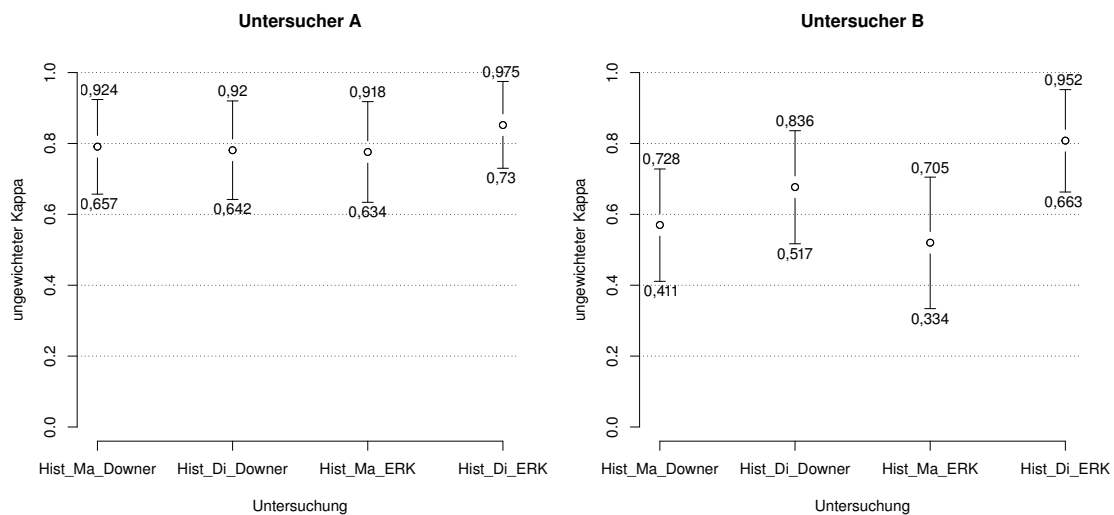


Abbildung 5.3: 95% Konfidenzintervall (KI) der ungewichteten Kappa-Werte der einzelnen Verfahren für Untersucher A und B

Tabelle 5.24: Übersicht der Inter-Untersucher Reliabilität und der Effektstärken für die beiden histologischen Verfahren, befundet nach den Kriterien nach Downer und nach Ekstrand et al.

	gewichteter (ungewichteter) Kappa	Effektstärke für gewichteten (ungewichteten) Kappa-Wert
	A vs. B	A vs. B
Hist_Ma_Downer	0,626 (0,536)	0,11 (0,00)
Hist_Di_Downer	0,681 (0,533)	
Hist_Ma_ERK	0,529 (0,412)	0,11 (0,06)
Hist_Di_ERK	0,597 (0,454)	

Die Ergebnisse der gewichteten Kappa-Werte der Inter-Untersucher Reliabilität für die nach Downer befundeten beiden Verfahren liegen in dem Bereich, der als substantiell bezeichnet wird. Die Ergebnisse der gewichteten Kappa-Werte der Inter-Untersucher Reliabilität für die nach Ekstrand et al. befundeten beiden Verfahren liegen in dem Bereich, der als moderat bezeichnet wird. Bei den beiden digitalisierten histologischen Untersuchungen ist eine höhere Reproduzierbarkeit im Vergleich zu den beiden histologischen Untersuchungen erkennbar (vgl. 5.24). Die 95% Konfidenzintervalle der Kappa-Werte sind in der Abbildung 5.4 dargestellt.

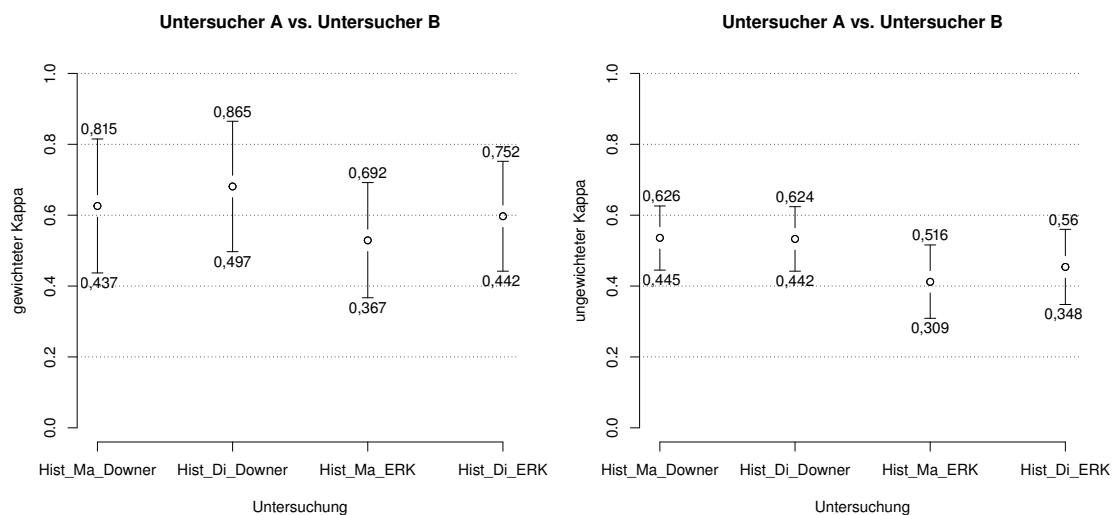


Abbildung 5.4: 95% Konfidenzintervall (KI) der gewichteten und ungewichteten Kappa-Werte der einzelnen Verfahren für Untersucher A versus B

6 Diskussion

6.1 Diskussion der Radiographie

Für die röntgenologische Untersuchung wurden die Zähne in orthograder Projektion von bukkal nach lingual analog und digital geröntgt. Alle Röntgenaufnahmen erfolgten in Rechtwinkeltechnik. Um die röntgenstrahlenabsorbierende und streuende Wirkung der menschlichen Wange zu simulieren, wurden sowohl die analogen, als auch die digitalen Röntgenbilder, mit einer 16 mm dicken Beauty Pink Wachsplatte, die sich zwischen der Blende am Tubusende und den Zähnen befand, geröntgt (Ricketts et al., 1994). In einer ähnlich gelagerten Studie wurde statt der 16 mm dicken Wachsplatte eine 12 mm dicke Acrylplatte verwendet (Jacobsen et al., 2004). Jablonski-Momeni et al. (2012) nutzten stattdessen ein röntgentransparentes Kiefermodell aus Kunststoff (A-R, Frasco, Tettnag), in welchem die zu untersuchenden Zähne fixiert wurden. Um ein optimales Ergebnis im Bereich Kontrast und Bildrauschen zu erhalten, wurde in der vorliegenden Studie im Vorversuch eine geeignete Belichtungszeit ermittelt. Daraus ergab sich eine Belichtungszeit für die analogen Zahnfilme von 120 ms für die Prämolaren und 160 ms für die Molaren, sowie für die digitalen Zahnfilme 100 ms für die Prämolaren und 120 ms für die Molaren.

Die analogen Röntgenaufnahmen wurden wie in Kapitel 4.5.2 beschrieben unter Standardbedingungen hergestellt. Die digitalen Einzelzahnfilme wurden mit dem System Digora angefertigt und auf Digora-Phosphorspeicherfolien mit den Maßen 3x4 cm hergestellt. Gespeichert wurden die entstandenen Bilder als 8-Bit-BMP-Dateien, mit einer Auflösung von 988x750 Pixeln. Um die bereits angefertigten analogen Aufnahmen zu digitalisieren, wurden diese in der vorliegenden Studie mit einer digitalen Kamera (Canon EOS D30) mit einem Makroobjektiv (Tamron SP, 90 mm, Blende 11) abfotografiert. Damit entstanden Bilddateien mit einer Auflösung von 1440x960 Pixeln. Diese digitalfotografisch reproduzierten analogen Röntgenaufnahmen wurden als JPEG Bilddatensätze gespeichert.

Joint Photographic Experts Group (JPEG) ist ein verlustbehaftetes irreversibles Bildkompressionsformat, bei welchem man den Grad der Kompression in bestimmten Grenzen wählen kann. Je höher die gewählte Kompression, desto kleiner die resultierende Datei, desto größer der Qualitäts- beziehungsweise der Informationsverlust (Wenzel, 1998). Studien zur Digitalisierung von Röntgenbildern müssen daher in Bezug auf die Kompression und die verwendete Methode kritisch betrachtet werden. Grundsätzlich können bei der Digitalisierung von Filmaufnahmen zwei Verfahren unterschieden werden; die Auflicht- und Durchlichtdigitalisierung (Chen und Hollender, 1995; Gassmann et al., 2009). Bei letzterer befindet sich die Lichtquel-

le ähnlich einem analogen Röntgenfilmbetrachter auf der einen Seite des Filmes, während der CCD-Sensor auf der anderen Seite das vom Film durchgelassene Licht auffängt. Bei der Auflichtdigitalisierung befindet sich die Lichtquelle und der CCD-Sensor auf der gleichen Seite des Films. Bei der Befundung eines Röntgenbilds spielen Grauwertunterschiede eine erhebliche Rolle. Diese können jedoch genauer bei der Durchlichtdigitalisierung detektiert werden. Diese Effekte spielen auch bei der Digitalisierung anderer radiographischer Aufnahmen wie Western Blots beziehungsweise der Gelelektrophorese eine Rolle (Gassmann et al., 2009). Ein weiteres in der Zahnmedizin akzeptiertes und publiziertes Verfahren ist das Abfotografieren entwickelter Röntgenfilme (Stassinakis et al., 1995; Chu et al., 2010). In einer Arbeit zur Digitalisierung von Röntgenbildern approximaler Kariesläsionen wurden zwei Scanner und vier Digitalkameras untersucht. Des Weiteren wurde der Unterschied komprimierter und nichtkomprimierter digitalisierter Röntgenaufnahmen verglichen. Die Diagnose kariöser Läsionen wurde durch die Kompression nicht verändert. Ebenso gab es keine Unterschiede bei den beiden untersuchten Digitalisierungsverfahren (Xavier et al., 2011). Janhom et al. (2002) untersuchten das JPEG Komprimierungsverfahren genauer. Sie verwendeten eine Kompression von neun zu eins und konnten feststellen, dass bei dieser hohen Kompression Kariesläsionen im Dentin signifikant schlechter erkannt wurden. Bei Läsionen bis zur Schmelz-Dentin-Grenze und bei gesunden Flächen gab es keine Unterschiede (Janhom et al., 2002). In der vorliegenden Studie wurde für die Digitalisierung der analogen Röntgenbilder die von der Kamera vorgegebene hohe Kompression gewählt.

Der Frage, ob der Ausdruck eines Röntgenbilds auf einem handelsüblichen Farbdrukker zur Kariesdiagnose verwendet werden kann, ging die Arbeitsgruppe um Schulze et al. (2011) nach. Dabei gab es im Vergleich zum kalibrierten Röntgenmonitor keinen signifikanten Unterschied. Die Autoren weisen jedoch auf die Notwendigkeit einer adäquaten Kalibrierung des Druckers hin (Schulze et al., 2011). Bei einer Untersuchung zur Kariesdiagnose an einem handelsüblichen und an einem feinkalibrierten medizinischen LCD-Monitor erzielte der medizinische Monitor höhere Werte für die Sensitivität und Spezifität (Ilgüy et al., 2009).

6.1.1 Übereinstimmung der Radiographie zum ICDAS-II

Bei der Detektion der Okklusalkaries zeigte die visuelle Untersuchung im Vergleich zu allen röntgenologischen Diagnosen eine Korrelation von $r_s = 0,552$ bis $r_s = 0,593$ für Untersucher A und eine Korrelation im Bereich von $r_s = 0,456$ bis $r_s = 0,551$ für Untersucher B. Dies entspricht nach Ricketts et al. (1998) einer moderaten Korrelation (vgl. Tabelle 5.22). Der Unterschied zwischen den Methoden ist insgesamt

gering. Damit kann keinem der verwendeten Verfahren der Vorzug bei der Detektion kariöser Läsionen im Fissurenrelief gegeben werden. Eine Untersuchung zum Vergleich des ICDAS-II mit digitalen Bissflügelaufnahmen lieferte eine ähnlich moderate Korrelation (0,36) (Jablonski-Momeni et al., 2012).

Untersucher A befundete einige Messpunkte visuell als Schmelzläsion, die jedoch bei allen röntgenologischen Verfahren als gesund eingestuft wurden (vgl. Tabelle 5.1, 5.3, 5.5). Röntgenologisch von Untersucher B als Schmelztransluzenz erfasste Messpunkte wurden visuell als gesund eingestuft (vgl. Tabelle 5.2, 5.4, 5.6). Bei Beachtung der therapeutischen Konsequenz müssen diese Befunde jedoch relativiert werden. So würden bei einer Schmelzläsion lediglich Prophylaxemaßnahmen resultieren. Bei beiden Untersuchern wurden einige Messpunkte röntgenologisch als Transluzenz im äußeren Dentindrittel befundet, die jedoch visuell als Schmelzläsion diagnostiziert wurden. Als mögliche technische Ursachen können Überlagerungseffekte okklusaler Zahnhöcker oder Mach-Band Effekte angeführt werden (Lazarchik et al., 1995; Chu et al., 2010).

Zusammenfassend ergaben sich beim Vergleich der Radiographie zum ICDAS-II Schwierigkeiten bei der Diagnose der Schmelzkaries. Bereits 2002 wiesen Ricketts et al. auf den Umstand hin, dass die visuelle Inspektion und die radiologische Untersuchung zwar in der klinischen Routine eingesetzt werden, diese jedoch kariöse Läsionen erst in einem fortgeschrittenen Stadium erfassen können. Die Arbeitsgruppe konnte zeigen, dass zwischen der histologisch ermittelten Läsionstiefe und der radiographischen nur eine moderate Korrelation bestand ($r_s = 0,77$) (Ricketts et al., 2002). In einer weiteren Studie konnte die höchste Korrelation mit der Histologie vom ICDAS-II erreicht werden (Rodrigues et al., 2008). Nach Ausdehnung der Läsion unterschieden, lag die höchste Leistungsfähigkeit des ICDAS-II bei Schmelzläsionen vor. Die Dentinläsionen wurden jedoch zuverlässiger von der Radiographie erfasst, so lag die Posttestwahrscheinlichkeit in diesem Fall bei 91,4% und somit am höchsten. Bei der Kombination von ICDAS-II und Radiographie konnten die besten Ergebnisse erzielt werden. Bereits 1993 kam man beim Einsatz der visuellen Inspektion in Kombination mit Bissflügelaufnahmen zu einem ähnlichen Ergebnis (Lussi, 1993). Die Überlegenheit der Radiographie bei der Diagnose von okklusalen Dentinläsionen konnten Lussi und Francescut (2003) bestätigen. In ihrer Arbeit war die Radiographie der visuellen Inspektion signifikant überlegen. Hintze et al. (1994), Wenzel (1998), Côrtes et al. (2000) und Braga et al. (2010) konnten den Umkehrschluss, wonach die Radiographie regelhaft schlechter bei der Diagnose von Schmelzkaries abschneidet, belegen. Beachtet man diese Erkenntnisse und unterteilt die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in zwei Teile, so erhält man für die Dentinkaries für Un-

tersucher A eine gemittelte Konkordanz zwischen Radiographie und ICDAS-II von 70,9% (bei Berücksichtigung aller Kariesstufen: 52,8%) und für Untersucher B von 74,7% (bei Berücksichtigung aller Kariesstufen: 52,3%) (vgl. Tabelle 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6). Die insgesamt nur mäßige Konkordanz aller Kariesstufen ist damit durch die schwache Beurteilung der Schmelzläsionen bedingt. Interessanterweise schnitt Untersucher B bei der Beurteilung der Dentinläsionen anhand der digitalen Verfahren besser ab als Untersucher A. Untersucher A hingegen schnitt beim analogen Röntgen am besten ab. Diese deutliche Asymmetrie kann durch einen Erfahrungsumterschied bei den Beurteilungsmedien erklärt werden. So hatte Untersucher B bis zur Durchführung der vorliegenden Arbeit nahezu ausschließlich digitale Röntgenbilder befundet. Untersucher A hingegen konnte durch langjährige Erfahrung bei der Befundung analoger Röntgenbilder in diesem Bereich besser abschneiden. Zu einem ähnlichen Schluss kommt die Arbeit von Lazarchik et al. (1995). In dieser Studie konnten die erfahrenen Fakultätsangehörigen tatsächlich gesunde Zähne besser als gesund einstufen als Studenten mit unterschiedlichem Erfahrungsgrad. Souza-Zaroni et al. (2006) liefern ein ergänzendes Ergebnis. Die erfahrenen Untersucher stuften dabei tatsächlich okklusale kariös befallene Zähne häufiger als krank ein. Die bis dato publizierte Literatur ist in Bezug auf erfahrenen versus unerfahrenen Untersucher uneindeutig. Insgesamt wird darauf hingewiesen, dass erfahrene Untersucher die therapeutische Konsequenz bei der Beurteilung der okklusalen Kariesausdehnung deutlicher berücksichtigen (Lazarchik et al., 1995; Souza-Zaroni et al., 2006).

6.1.2 Korrelation der röntgenologischen Diagnosen

Für alle röntgenologischen Untersuchungen zur Detektion okklusaler Karies ergaben sich moderate Korrelationen (vgl. Tabelle 5.22).

Bei den analogen versus digitalen Aufnahmen zeigte sich eine geringere Korrelation der Diagnosen als bei den analogen versus analog-digitalisierten Röntgenaufnahmen. Jedoch fielen die Unterschiede bei allen angewandten Methoden marginal aus. Die hohe Komprimierung, welche bei den analog-digitalisierten Röntgenaufnahmen durch die Digitalkamera vorgenommen wurde, hatte demnach keinen Einfluss auf die Korrelation der Diagnosen. Die digitalen Aufnahmen lagen unkomprimiert vor und wiesen dennoch keine höhere Übereinstimmung auf.

In einer Arbeit von Abreu-Júnior et al. (1999), welche die diagnostische Wertigkeit von Film und digitaler Radiographie untersuchte, fanden die Autoren ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen Film und digitaler Radiographie. Die Vorteile der digitalen Radiographie liegen in der Möglichkeit der Nachbearbeitung. Dabei scheint die Nachbearbeitungsmethode von der Fragestellung abzuhängen. So fan-

den Wenzel und Hintze (1993), dass weniger Nachbearbeitung notwendig war, um feinere Gewebeunterschiede eindeutig zu einer Kariesstufe zuzuordnen. Bot man 20 Zahnärzten gleichzeitig viermal die gleiche Bissflügelaufnahme in unterschiedlichen Nachbearbeitungen an, so wählten diese häufiger die Geglätteten (smooth image). Daher sollte zur Verbesserung der Diagnose bei digitalen Bildern die Möglichkeit zur softwareseitigen Nachbearbeitung angeboten werden (Wenzel et al., 1990; Wenzel und Hintze, 1993).

Aus den Kreuztabellierungen (vgl. Tabelle 5.15, 5.16, 5.17) wird ersichtlich, dass Untersucher A bei den analogen Aufnahmen bereits eine Transluzenz im Schmelz oder im äußeren Dentindrittel diagnostizierte, jedoch diese bei den digitalen und analog-digitalen Bildern als gesund bewertete. Hingegen stellte Untersucher B bei einigen analogen Aufnahmen eine Transluzenz im äußeren Dentindrittel fest, welche bei den digitalen und analog-digitalen Bildern als C1 bewertet wurden. Eine mögliche Erklärung könnte der Mach-Band Effekt liefern (Chu et al., 2010). Das gleiche Bild ergab sich aus der Kreuztabelle digital versus analog-digital. Folglich ergibt sich für Untersucher A im Mittel aller Methoden eine Übereinstimmung von 47,1 % und für Untersucher B im Mittel eine Übereinstimmung von 52,4%.

Untersucher B diagnostizierte bei den digitalen und den analog-digitalen Aufnahmen zu einem hohen Anteil eine C2 Karies, die jedoch auf den analogen Bildern lediglich als Schmelztransluzenz befundet wurde (vgl. Tabelle 5.15, 5.16). Bei dem Vergleich zwischen den digitalen mit den analog-digitalen Röntgenaufnahmen fiel dieser Effekt geringer aus (vgl. Tabelle 5.17). Dies lässt vermuten, dass die bei den digitalen Verfahren zur Verfügung stehenden Hilfsmittel wie Kontrastverstärkung und Vergrößerung eine konstantere Befundung ermöglichen.

Insgesamt muss angemerkt werden, dass die röntgenologischen Diagnoseverfahren die Kariesausdehnung unterschätzen (Wenzel et al., 1990; van Amerongen et al., 1992; Ekstrand et al., 1997). Dies kann durch den pathoanatomischen Vorgang der Kariesausdehnung erklärt werden. Bei diesem erfolgt eine diffuse Infiltration des Zahngewebes durch Bakterien und im Anschluss folgt die Destruktion des Zahngewebes, welche im Röntgenbild als Aufhellung beobachtet werden kann. Die Infiltrationsfront, bei der das Zahngewebe noch weitgehend intakt ist, bleibt auf dem Röntgenbild verborgen.

6.2 Diskussion der Histologie

Die Herstellung der histologischen Präparate und die Zuordnung der Hartschnitte zu den jeweiligen Messpunkten erfolgte nach einem standardisierten Verfahren (Stachniss, 2005; Jablonski-Momeni et al., 2008a; Stachniss und Schwarzbach, 2009;

Jablonski-Momeni und Stachniss, 2011). Dabei werden im Gegensatz zur herkömmlichen Methode, der Hemisektion (Ekstrand et al., 1997; Kidd et al., 2003; Angnes et al., 2005; Rodrigues et al., 2008; Braga et al., 2009; Bakhshandeh et al., 2011; de Benedetto et al., 2011; Jablonski-Momeni et al., 2011; Diniz et al., 2012; Jablonski-Momeni et al., 2012), die zu untersuchenden Zähne zu vielen dünnen Schliffen aufgearbeitet. Mit dem Dünnschliffverfahren erhält man folglich mehrere zu beurteilende Objektträger. Damit erhöht sich die Chance, die für die Kariesdiagnose kritischen Stellen auch tatsächlich abgebildet zu haben (Jablonski-Momeni et al., 2008a, 2009). Dieses Verfahren birgt im Wesentlichen zwei Risiken. Zum einen den Bruch des Dünnschliffpräparats und zum anderen den Verlust eines Abschnittes des zu untersuchenden Bereichs, der durch zu breite Sägeblätter verursacht werden kann (Downer, 1975; Ricketts et al., 1998). Das in dieser Studie zum Schneiden verwendete diamantierte Edelstahlband mit einer Stärke von $200\text{ }\mu\text{m}$ für Molaren und mit einer Dicke von $100\text{ }\mu\text{m}$ für Prämolaren reduziert jedoch dieses Risiko. Des Weiteren ermöglicht die standardisierte Zuordnung der Hartschnitte zu den zu untersuchenden Messpunkten eine eindeutige Beurteilung der zuvor visuell befundenen Stelle im okklusalen Relief (Jablonski-Momeni und Stachniss, 2011). Die Präparate wurden mit einer digitalen Kamera mit Makroobjektiv abfotografiert und als JPEG Bilddaten archiviert. Im Anschluss wurden die digitalen Bilder mit Hilfe eines Bildbearbeitungsprogramms freigestellt und der Kontrast, sowie die Helligkeit wurden zur besseren Darstellung am Monitor angepasst. Der Einfluss der Digitalisierung auf die Beurteilbarkeit von Zahnhartschnitten ist bislang nicht untersucht worden. Bei der konventionellen Histopathologie scheint der Einfluss der virtuellen Mikroskopie auf die Konkordanz der Diagnosen keine Rolle zu spielen (Nielsen et al., 2010). Einschränkend muss angemerkt werden, dass bei der konventionellen Histopathologie die Architektur eine größere Rolle spielt als bei Zahnhartschnitten, bei denen es üblicherweise auf die genaue Abgrenzung des Schmelz-Dentin-Übergangs ankommt. Dennoch bietet die Verwendung digitaler Histologie vor allem im Rahmen von Multicenter-Studien Vorteile. So müssen nicht alle partizipierenden Studienzentren über die personelle, technische und logistische Ausstattung, welche für die Herstellung von Zahnhartschnitten notwendig sind, verfügen. Damit kann die standardisierte Herstellung an einigen wenigen oder nur einem Studiencenter stattfinden (Jablonski-Momeni et al., 2008a). Die digitalen Reproduktionen können dann an die anderen Studiencenter verlustfrei elektronisch verschickt werden. Ein Präparatbruch oder Verlust, wie er auf dem Postweg passieren kann, muss nicht mehr befürchtet werden.

Makrofotografien wurden bereits mehrfach im Rahmen von zahnmedizinischen Stu-

dien verwendet (Benson et al., 2008; Iijima, 2008; Cochrane et al., 2012). Beispielsweise um die Prävalenz der Schmelzfluorose an sieben Studienzentren in Europa zu ermitteln, etablierten Cochran et al. (2004) eine standardisierte Methode, die betroffenen Zähne fotografisch zu dokumentieren. Zu Studienbeginn wurden alle Fotografen geschult und in den standardisierten Ablauf der Fotodokumentation eingewiesen. Bei der Erfassung der Fluorose lieferten die Makrofotografien reproduzierbare Resultate im Vergleich zu der direkten Untersuchung der Zähne.

6.2.1 Übereinstimmung der Histologie zum ICDAS-II

Die Kariesdetektion ist eine der Hauptaufgaben der zahnärztlichen Tätigkeit und erfolgt in erster Linie durch die visuelle Eingangsuntersuchung. Sie sollte in der Lage sein, die unterschiedlichen Kariesstadien exakt und verlässlich zu ermitteln, um eine sachgerechte Therapie zu ermöglichen. Das ICDAS-II soll diesem Anspruch gerecht werden. Daher wurde in der vorliegenden Studie die Korrelation zwischen dem ICDAS-II und den histologischen Methoden ermittelt.

Die visuelle Untersuchung im Vergleich zu allen histologischen Befunden zeigte eine Korrelation von $r_s = 0,533$ bis $r_s = 0,634$ für Untersucher A und eine Korrelation von $r_s = 0,465$ bis $r_s = 0,563$ für Untersucher B. Dies entspricht einer moderaten Korrelation.

Diniz et al. ermittelten in einer Arbeit aus dem Jahr 2011 beim Vergleich der Histologie zum ICDAS-II eine moderate Korrelation von 0,63. Beim Vergleich von visueller Inspektion und Histologie nach Ekstrand et al. ermittelten Kidd et al. (2003) einen Spearmanwert von 0,71. Dieses Ergebnis ist jedoch nur bedingt mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie vergleichbar, da zur visuellen Befundung der okklusalen Zahnflächen eine Klassifikation mit lediglich fünf Codes verwendet wurde. Einzelne Eigenschaften des verwendeten Klassifikationsystems sind aufgrund der Zusammenarbeit der Autorengruppe ins ICDAS-II System eingeflossen. Eine Arbeit aus dem Jahr 2002 kommt bei gleichartigem Aufbau sogar auf einen Spearmanwert von 0,93. Des Weiteren konnten die Autoren bei der Entnahme von perikariösem Dentin eine höhere Keimbelastung bei großen Kavitäten im Gegensatz zu Mikrokavitäten feststellen (Ricketts et al., 2002).

Diniz et al. (2009) ermittelten beim Vergleich der direkten Makroskopie nach Ekstrand et al. und dem ICDAS-II für die zwei Untersucher einen Spearmanwert von 0,49 beziehungsweise von 0,42. In einer Folgestudie wurde stattdessen die Klassifikation nach Downer verwendet. So wurden 105 Zähne zunächst nach dem ICDAS-II visuell und im Anschluss histologisch untersucht. Nach der Hemisektion erfolgte eine Färbung der okklusalen kariösen Läsion mit Rhodamin B. Die Ausdehnung des

angefärbten Bezirks im Fissurenrelief wurde unter einem Stereomikroskop bei zehnfacher Vergrößerung von zwei Untersuchern bewertet. Die Autoren konnten so einen Spearmanwert für den Vergleich der beiden Verfahren von 0,48 ermitteln (Diniz et al., 2012). Im Gegensatz dazu verwendete eine Studie aus dem Jahr 2012 digitale Reproduktionen (Jablonski-Momeni et al., 2012). Im Anschluss an die Hemi-sektion wurden die Zähne im axialen Längsschnitt mit Hilfe eines handelsüblichen Makroskops mit installierter Digitalkamera abfotografiert. Die Aufnahmen wurden an einem kalibrierten Monitor von einem erfahrenem und unerfahrenem Untersucher nach den Downer Kriterien bewertet. Dabei wurde ein Spearmanwert für den erfahrenen Untersucher von 0,89 und für den unerfahrenen Untersucher von 0,63 ermittelt.

Aus den Spearmanwerten (vgl. Tabelle 5.22) ist zu entnehmen, dass Untersucher A für die Klassifikation nach Ekstrand et al. eine höhere Korrelation zum ICDAS-II aufwies (Ekstrand et al.: $r_s = 0,571$, $r_s = 0,634$, Downer: $r_s = 0,533$, $r_s = 0,611$). Bei Untersucher B lag eine höhere Übereinstimmung für die Downer Klassifikation vor (Downer: $r_s = 0,488$, $r_s = 0,563$ Ekstrand et al.: $r_s = 0,465$, $r_s = 0,508$). Im Vergleich visuell versus digitales Bild und visuell versus Makroskopie zeigte sich für Untersucher A beim digitalen Verfahren eine höhere Übereinstimmung. Für Untersucher B zeigte die direkte Makroskopie zum ICDAS-II die höhere Korrelation. Jedoch sind die Unterschiede absolut betrachtet sehr gering und können damit vernachlässigt werden. In einer Arbeit von Rodrigues et al. (2008) konnte die höchste Korrelation mit der Histologie nach Downer vom ICDAS-II erreicht werden ($r_s = 0,59$). In einer Subgruppenanalyse kommen Braga et al. (2009) auf einen Spearmanwert von 0,82. Einschränkend muss zu dieser Arbeit jedoch bemerkt werden, dass überwiegend Zähne mit Läsionen im Schmelzniveau (81% der Messpunkte) verwendet wurden und somit keine repräsentative Stichprobe vorlag (Braga et al., 2009).

Aus den Kreuztabellen (vgl. Tabelle 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14) wird ersichtlich, dass einige Messpunkte visuell als Score 1 befundet wurden, sich jedoch histologisch als gesund herausstellten. Dies lässt vermuten, dass die Untersucher Zähne, die aufgrund von Schmelzbildungsstörungen oder Verfärbungen unklarer Genese eine Veränderung aufwiesen, visuell als nicht gesund einstufen. Diese Zähne würden jedoch aufgrund der therapeutischen Konsequenz in Form von Fluoridierungsmaßnahmen davon profitieren. Bedenklicher ist hingegen, dass einige der visuell "gesunden" Messpunkte histologisch einer Schmelzläsion zuzuordnen waren. Ein sehr hoher Anteil der Messpunkte (79% bis 89%), die nach ICDAS-II Code 3 visuell einen Verlust der Schmelzstruktur aufzeigten, konnten histologisch nach Ekstrand et al.

an der Schmelz-Dentin-Grenze lokalisiert werden. Dies ist im Besonderen bemerkenswert, da kariöse Läsionen an der Schmelz-Dentin-Grenze noch durch Prophylaxemaßnahmen an der Progression ins Dentin gehindert werden können. Hingegen sind kariöse Läsionen, welche bis ins mittlere Dentindrittel reichen, stärker infiziert und bedürfen einer invasiven Therapie (Ricketts et al., 1995). Manche Messpunkte wurde visuell als Score 1 oder 2 befundet, die sich jedoch nach Downer histologisch als Dentinkaries herausstellten. Dies verdeutlicht, dass verfärbte Fissuren ein relevantes diagnostisches Problem darstellen und als Konsequenz ein ergänzendes Untersuchungsverfahren hinzugezogen werden sollte.

6.2.2 Korrelation der histologischen Diagnosen

In der vorliegenden Studie wurden die Korrelationen der histologischen Diagnosen durch den Korrelationskoeffizienten nach Spearman erfasst. Dabei wurden die Ergebnisse der direkten Makroskopie mit denen der digitalfotografischen Reproduktion verglichen. Des Weiteren wurden die histologischen Präparate im Auflicht und am Bildschirm anhand zweier unterschiedlicher Klassifikationssysteme bewertet. Für alle histologischen Untersuchungen ergab sich nach Ricketts et al. (1998) eine hohe Korrelation.

Der Spearman Rangkorrelationskoeffizient zwischen der Befundung der direkten Makroskopie und der digitalfotografischen Reproduktion am Monitor für Untersucher A betrug nach Downer $r_s = 0,817$ und nach Ekstrand et al. $r_s = 0,742$. Für Untersucher B ergaben sich nach Downer Werte von $r_s = 0,826$ und nach Ekstrand et al. $r_s = 0,821$.

Aus der Kreuztabellierung (vgl. Tabelle 5.18, 5.19) wird ersichtlich, dass sich im Wesentlichen bei Grad 0 und 2 bei beiden Klassifikationssystemen Unterschiede ergaben. Die hohe Übereinstimmung bei Grad 1 läßt vermuten, dass Untersucher A sich in fraglichen Fällen eher für Grad 0 entschieden hat und Untersucher B eher für Grad 2. Einige Messpunkte, die bei der Befundung am Makroskop mit Grad 0 befundet wurden, wurden bei der Untersuchung der digitalen Bilder als Grad 1 oder Grad 2 ermittelt. Dies läßt vermuten, dass die digitalen Bilder aufgrund des ausgeprägten Kontrastes pathologische Veränderungen im Schmelzbereich deutlicher abbilden und damit eine exaktere Befundung ermöglichen.

Bei dem Vergleich der direkten Makroskopie beurteilt durch die zwei verwendeten Klassifikationssysteme ergab sich eine 79,9%-ige Übereinstimmung bei Untersucher A und eine Übereinstimmung von 68,2% bei Untersucher B (vgl. Tabelle 5.20). Bei der Betrachtung der digitalen Bilder am Monitor ergab sich für Untersucher A eine 71,5%-ige und für Untersucher B eine 72,6%-ige Übereinstimmung der Klassifika-

tionssysteme (vgl. Tabelle 5.21). Daraus wird ersichtlich, dass Untersucher A eine höhere Übereinstimmung bei der Betrachtung der Präparate unter dem Lichtmikroskop erreichte. Dementgegen erreichte dies Untersucher B bei der Betrachtung am Monitor. Bei dem Vergleich der Klassifikationen nach Downer (1975) und Ekstrand et al. (1997) muss berücksichtigt werden, dass den Scores 2 und 3 unterschiedliche Bedeutungen zu kommen und somit per se keine absolute Kontingenz erreicht werden kann (vgl. Tabelle 4.8).

Die Spearman Werte der direkten Makroskopie (Downer versus Ekstrand et al.) betrugen für Untersucher A $r_s = 0,964$ und für Untersucher B $r_s = 0,902$. Die Spearman Werte der digitalen Bilder (Downer versus Ekstrand et al.) betrugen hingegen für Untersucher A $r_s = 0,936$ und für Untersucher B $r_s = 0,892$. Da der Korrelationskoeffizient auch die Ausreißer berücksichtigt, ergibt sich als logischer Schluss eine minimale Verschlechterung der Beurteilbarkeit durch die Digitalisierung. Nominal betrachtet spielen sich die Unterschiede jedoch lediglich auf der zweiten Nachkommastelle ab und können damit vernachlässigt werden. Eine mögliche Erklärung für das geringfügig schlechtere Abschneiden der digitalisierten Histologie könnte an der JPEG-Komprimierung der verwendeten Digitalkamera liegen. Zusätzlich wurden die digitalen Reproduktionen im Anschluss an die Bildbearbeitung nochmals mit einer geringen Kompression gespeichert.

Durch eine hohe Komprimierung von zwanzig zu eins konnte kein Unterschied bei der Diagnose von *Helicobacter pylori* in einer konventionellen histopathologischen Studie an Magenbiopsien von 46 Patienten festgestellt werden (Kalinski et al., 2011). Eine weiterführende Untersuchung beschäftigte sich mit der Frage, ob anhand der virtuellen Mikroskopie die gleichen Diagnosen gestellt werden können wie am konventionellen Lichtmikroskop. Die Autoren konnten eine hohe Übereinstimmung der beiden Verfahren feststellen (Molnar et al., 2003). Bisher ist der Einfluss der Digitalisierung auf die Beurteilbarkeit von Zahnhartschnitten noch nicht untersucht worden. Aussagekräftige Studien sind bis dato nicht vorhanden.

6.2.3 Reliabilität der Untersucher

Die Intra- und Inter-Untersucher Reliabilität wurden anhand des Kappa-Wertes ermittelt. Dabei wurden ungewichtete und gewichtete Kappa-Werte berechnet.

Für die erste und zweite Befundung für Untersucher A lagen alle gewichteten Kappa-Werte im fast perfekten Bereich (0,826 - 0,882). Dabei zeigte sich bei den digitalen Bildern befundet nach Ekstrand et al. die höchste Übereinstimmung. Bei den beiden nach Downer befundeten Methoden lag jedoch eine höhere Übereinstimmung bei der Befundung der direkten Makroskopie vor. Die geringste Übereinstimmung

lag bei der Befundung der Makroskopie, beurteilt nach Ekstrand et al., vor. Die ungewichteten Kappa-Werte lagen für Untersucher A im substantiellen bis fast perfekten Bereich (vgl. Tabelle 5.23).

Die gewichteten Intra-Untersucher Kappa-Werte für die beiden nach Downer befundeten Verfahren von Untersucher B lagen in dem Bereich (0,695; 0,780), der als substantiell bezeichnet wird. Eine substantielle bis fast perfekte Reproduzierbarkeit zeigten die gewichteten Kappa-Werte (0,615; 0,854) für die beiden nach Ekstrand et al. befundeten Verfahren. Die ungewichteten Kappa-Werte für Untersucher B lagen für die beiden makroskopischen Untersuchungen im moderaten Bereich (0,570; 0,520). Für die digitalisierten Verfahren lagen sie im substantiellen bis fast perfekten Bereich (0,677; 0,808) (vgl. Tabelle 5.23). Für Untersucher B ist bei den beiden digitalisierten histologischen Untersuchungen sowohl für die gewichteten als auch ungewichteten Kappa-Werte eine höhere Konstanz im Vergleich zu den beiden makroskopischen Untersuchungen zu erkennen. Bakhshandeh et al. (2011) finden für die digitalfotografische Reproduktion befundet nach Ekstrand et al. ähnlich gute Werte (0,75). In einer weiteren Studie, welche ausschließlich die Reproduzierbarkeit der konventionellen Histologie untersuchte, ermittelten die Autoren für die Intra-Untersucher Reliabilität für das D1 Niveau Kappa-Werte zwischen 0,58 und 0,82 (Pitts et al., 2001).

Insgesamt wies Untersucher A für alle Untersuchungen eine höhere Konstanz auf als Untersucher B. Bei Untersucher A handelte es sich um eine Zahnärztin mit langjähriger klinischer Erfahrung. Untersucher B hingegen befand sich im neunten Fachsemester Zahnmedizin. Die Unterschiede bei der Untersuchungskonstanz lassen sich somit auf die unterschiedlich lange Erfahrung im Bereich der Kariesdiagnose zurückführen.

Bei der Befundung der digitalen Bilder, beurteilt nach Ekstrand et al., erzielten beide Untersucher jeweils die höchste Konstanz. Erstaunlicherweise lieferte die direkte Makroskopie, befundet anhand des gleichen Klassifikationssystems, die niedrigste Konstanz. Eine mögliche Erklärung kann in der feineren Aufgliederung des Dentinniveaus bei Ekstrand et al. gefunden werden. Es ist denkbar, dass die Digitalisierung zu einer Verbesserung der Kontrastverhältnisse führt und damit die kariöse Läsion im Dentinniveau besser zugeordnet werden kann. Zusammenfassend konnte jedoch kein beziehungsweise nur ein kleiner Effekt der Digitalisierung von makroskopischen Schnitten auf die Befundung anhand zweier Klassifikationssysteme gefunden werden (vgl. Tabelle 5.23). Damit wirkt sich die Digitalisierung weder positiv noch negativ auf die Intra-Untersucher Reliabilität aus.

Die gewichteten Kappa-Werte der Inter-Untersucher Reliabilität lagen für die nach Downer befundeten Verfahren im substantiellen Bereich (0,626; 0,681). Die Werte, die nach Ekstrand et al. beurteilt wurden, lagen im moderaten Bereich (0,529; 0,597) (vgl. Tabelle 5.24). In der Tendenz lagen die Kappa-Werte der digitalen Verfahren über denen der makroskopischen Verfahren. Ein Effekt (jeweils 0,11) der Digitalisierung konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Somit hat die Digitalisierung keinen Einfluss auf die Inter-Untersucher Reliabilität.

Eine Studie an 53 extrahierten Zähnen bediente sich der Hemisektion, um sie der histologischen Befundung zugänglich zu machen. Die okklusalen kariösen Läsionen wurden anhand der Klassifikation nach Downer befundet. Eine Woche später wurden 30% der Schnitte erneut befundet, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu evaluieren. So konnte ein gewichteter Kappa von 0,81 ermittelt werden (Jablonski-Momeni et al., 2011). Die Ergebnisse dieser Veröffentlichung sind jedoch nur bedingt mit denen der vorliegenden Studie vergleichbar. So machen die Autoren keine Angaben über die exakte Bildverarbeitung. Ebenso fehlen Angaben über die verwendeten Kompressionsmechanismen. Des Weiteren wurden nur Hemisektionen der Zähne angefertigt. Möglicherweise wurden so die kritischen Stellen nicht erfasst. Im Gegensatz dazu verwendeten Pitts et al. (2001) Zahnhartschnitte und verglichen die Inter-Untersucher Reliabilität der konventionellen Histologie. Für das D1 Niveau ermittelten die Autoren Kappa-Werte zwischen 0,46 und 0,63 und für das D3 Niveau Werte zwischen 0,44 und 0,64. Diese Werte sind mit denen der vorliegenden Studie vergleichbar. Eine Studie, welche sich ebenfalls ausschließlich der konventionellen Histologie bediente, ermittelte die Inter-Untersucher Reliabilität an 160 extrahierten Molaren und Prämolaren. Die Autoren konnten für das D1 Niveau einen Kappa-Wert von 0,75 und für das D3 Niveau einen Kappa-Wert von 0,74 berechnen (Fyffe et al., 2000).

Studien zur Reproduzierbarkeit der Diagnosen von okklusaler Karies an digitalisierten histologischen Hartschnitten sowie deren Originalbefunden liegen bis zum heutigen Tag nicht vor. Sie sind jedoch dringend notwendig, um den Goldstandard weiter zu perfektionieren (Huysmans und Longbottom, 2004).

Aufgrund der guten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit für die Intra-Untersucher Reliabilität kann der Einsatz digitalisierter Zahnhartschnitte im Rahmen von großangelegten Studien empfohlen werden. Sobald mehrere räumlich getrennte Studienzentren involviert sind, bietet sich die digitale Histologie als Möglichkeit an, Personal und Transportkosten von Material einzusparen. Die Untersuchungsobjekte können an einem Zentrum standardisiert hergestellt, digitalisiert und im Anschluss elektronisch verschickt werden.

6.3 Schlussfolgerung

Die vorliegende Arbeit konnte zeigen, dass das Betrachten histologischer Zahnhartschnitte auf einem Computerbildschirm vergleichbare Ergebnisse zur Betrachtung der Zahnhartschnitte unter dem Mikroskop liefert. Alle gewichteten Inter-Untersucher Kappa-Werte lagen im Bereich moderater bis substantieller Übereinstimmung. Alle gewichteten Intra-Untersucher Kappa-Werte lagen im Bereich substantieller bis fast perfekter Übereinstimmung und auch die Korrelation zwischen den beiden untersuchten histologischen Klassifikationen war sowohl am Makroskop als auch an den digitalen Bildern hoch. Die visuelle Befundung anhand des ICDAS-II lieferte beim Vergleich mit der Histologie durchweg moderate Korrelationen. Vereinzelt ergaben sich hier Schwierigkeiten bei der Identifizierung von Dentinläsionen. Bei der Befundung der Histologie konnte kein Unterschied zwischen erfahrenem und unerfahrenem Untersucher nachgewiesen werden. Die digitale Histologie läßt sich damit auch von unerfahrenen Untersuchern verlässlich auswerten und kann somit als Hilfsmittel in der zahnmedizinischen Lehre eingesetzt werden. Die erlangten Erkenntnisse gewinnen vor allem im Rahmen von Multicenter-Studien an Bedeutung. Die digitalen Bilder können elektronisch zu anderen Studienzentren verschickt werden, ohne dass Qualitätseinbußen bei der Befundung befürchtet werden müssen. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die Digitalisierung der Röntgenaufnahmen keinen nachteiligen Einfluss auf die Befundung ausübt. Erstaunlicherweise lieferte sogar das bloße Abfotografieren eines Röntgenbilds nahezu gleich gute Ergebnisse. Insgesamt fielen die Unterschiede bei allen angewandten röntgenologischen Methoden marginal aus. So ergaben sich durchweg moderate Korrelationen. Auch beim Vergleich zum ICDAS-II lag bei beiden Befundern eine moderate Korrelation vor. Das bereits mehrfach publizierte Problem, wonach das Röntgen bei der Diagnose von Karies im Schmelzniveau Schwächen hat, konnte in der vorliegenden Arbeit bestätigt werden. Bei ausschließlicher Betrachtung der Dentinläsionen fallen die Ergebnisse des Vergleichs zwischen der Radiographie und dem ICDAS-II deutlich besser aus. Daher ist die Kombination mit einem weiteren Verfahren empfehlenswert.

7 Zusammenfassung

Die moderne Kariologie erfordert eine zuverlässige okklusale Kariesdetektion. Im Rahmen von großangelegten Studien können neue Klassifikationssysteme, wie das International Caries Detection and Assessment System II (ICDAS-II), unter Zusammenarbeit mehrerer Studienzentren validiert werden. Aufgrund der räumlichen Distanz der einzelnen Zentren muss die Eignung des ICDAS-II Systems für den Einsatz in Multicenter-Studien hinsichtlich der Verwendung digitaler Medien untersucht werden. Daher überprüft die vorliegende Arbeit die Reproduzierbarkeit der Diagnosen von okklusaler Karies an röntgenologischen Aufnahmen und digitalisierten histologischen Hartschnitten sowie deren Originalbefunden.

Material und Methode: 100 extrahierte menschliche Seitenzähne wurden visuell (ICDAS-II) an 181 Messpunkten von einer Konsensusgruppe befundet (Jablonski-Momeni et al., 2008a). Von diesen Zähnen wurden anschließend analoge und digitale Röntgenaufnahmen angefertigt. Die analogen Röntgenbilder wurden danach mit einer digitalen Kamera abfotografiert. Alle Röntgenbilder wurden von zwei Untersuchern anhand der radiologischen Klassifikation nach Ekstrand et al. (1997) beurteilt. Im Anschluss wurden die Zähne histologisch aufgearbeitet und Hartschnittpräparate hergestellt. Von den Präparaten wurden digitale makrofotografische Reproduktionen angefertigt. Befundet wurden die Präparate an einem Auflichtmakroskop, die digitalen Bilder entsprechend an einem Monitor. Die Ausdehnung der Karies wurde von zwei Untersuchern anhand zwei unterschiedlicher histologischer Klassifikationssysteme (Downer, 1975; Ekstrand et al., 1997) ermittelt. Die Reproduzierbarkeit der Messungen wurden mithilfe von Cohen's Kappa (κ), die Effektstärke anhand Cohens d berechnet. Die Korrelationen wurden anhand des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman r_s ermittelt. Die Ergebnisse der verschiedenen Diagnosesysteme wurden in Kreuztabellen den visuellen Befunden gegenübergestellt.

Ergebnisse: Bei beiden histologischen Klassifikationssystemen und beiden Untersuchungsverfahren lag die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit im substantiellen bis fast perfekten Bereich (gewichteter $\kappa = 0,615 - 0,882$) und die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit im moderaten bis substantiellen Bereich (gewichteter $\kappa = 0,529 - 0,681$). Es konnte, bezogen auf die Kappa-Werte, zwischen der Betrachtung am Makroskop und der Betrachtung am Monitor kein Effekt oder nur ein kleiner Effekt bei beiden Klassifikationssystemen festgestellt werden (Effektstärke $0,05 - 0,48$). Der Spearman Korrelationskoeffizient zwischen den beiden histologischen Klassifikationen war sowohl am Makroskop als auch an den digitalen Bildern hoch ($r_s = 0,742 - 0,964$). Die Korrelation zwischen dem ICDAS-II und den histologischen Untersuchungen lag im moderaten Bereich ($r_s = 0,488 - 0,634$). Die Korrelation

zwischen dem ICDAS-II und den röntgenologischen Verfahren lag im moderaten Bereich ($r_s = 0,449 - 0,593$). Beim Vergleich der röntgenologischen Verfahren untereinander ergaben sich moderate Korrelationen ($r_s = 0,414 - 0,556$).

Schlussfolgerung: Digitale Bilder von Zahnhartschnitten können elektronisch zu anderen Studienzentren verschickt werden, ohne dass Qualitätseinbußen bei der Befundung befürchtet werden müssen. Bei der Bewertung von Röntgenbildern verursacht eine Digitalisierung keine Veränderung bei den diagnostischen Aussagen. Die Gegenüberstellung des ICDAS-II mit der Histologie konnte zeigen, dass ein hoher Anteil kariöser Läsionen an der Schmelz-Dentin-Grenze vom ICDAS-II detektiert werden kann.

7.1 Abstract

Modern cariology demands a reliable occlusal caries detection. Through large-scale studies with multiple participating study centers new classification systems, like the International Caries Detection and Assessment System II (ICDAS-II), can be validated. Due to the distance of the participating centers the ICDAS-II must be validated with regard to the application of digital media. Therefore, this study investigates the reproducibility of caries detection on occlusal surfaces on radiographs and digitised histological tooth sections in comparison to their originals.

Material and methods: 100 extracted human teeth were visually scored (ICDAS-II) at 181 investigation sites by a consensus group (Jablonski-Momeni et al., 2008a). Subsequently conventional and digital radiographs of these teeth were taken. The analogue radiographs were digitised by photographing them with a digital camera. All radiographs were scored according to the Ekstrand et al. (1997) classification. Afterwards the teeth were cut in sections and macro photographs of these sections were taken. The sections were scored on a macroscope and the digital images on a computer screen. The presence and extent of caries was scored according to two histological classification systems (Downer, 1975; Ekstrand et al., 1997). All objects in this study were evaluated by two examiners. The reproducibility was measured by calculating the Cohen's Kappa (κ). The effect size was determined using Cohen's d. The correlations were expressed by the Spearman correlation coefficient r_s . The results of the different diagnostic systems were contrasted with the visual results in contingency tables.

Results: The intra-examiner reproducibility for both histological classification systems and both examination techniques was substantial to almost perfect (weighted $\kappa = 0,615 - 0,882$). Besides, the inter-examiner reproducibility ranged from moderate to substantial (weighted $\kappa = 0,529 - 0,681$). Comparing the kappa values

between viewing the sections under the macroscope and viewing the digital images no effect or only a small effect between both examination techniques could be observed (effect size $0,05 - 0,48$). The Spearman correlation coefficient revealed high agreement between both classification systems for both examination modalities ($r_s = 0,742 - 0,964$). The ICDAS-II showed moderate performance when contrasted with histologic or radiographic examinations, with $r_s = 0,488 - 0,634$ and $r_s = 0,449 - 0,593$ respectively. The different radiographic methods showed moderate correlations when compared among each other ($r_s = 0,414 - 0,556$).

Conclusion: Digital images of tooth sections can be sent electronically to participating study centers without any impact on scoring quality. When evaluating radiographs the digitisation causes no changes in diagnostic results. Compared with histology the ICDAS-II can detect a high percentage of carious lesions at the enamel-dentine junction.

8 Literaturverzeichnis

- Abreu-Júnior M, Tyndall DA, Platin E, Ludlow JB, Phillips C: Two- and three-dimensional imaging modalities for the detection of caries. A comparison between film, digital radiography and tuned aperture computed tomography (TACT). *Dentomaxillofac Radiol* 28, 152–157 (1999).
- Allais G: Karies - Die biologischen Faktoren. *Swiss Dental Community* 1, 88–96 (2008a).
- Allais G: Karies. *BZB Wissenschaft und Fortbildung* 50–58 (2008b).
- Allais G: Karies - Die Diagnose. *Swiss Dental Community* 2, 84–91 (2009).
- Amaechi BT, Higham SM, Edgar WM: Use of transverse microradiography to quantify mineral loss by erosion in bovine enamel. *Caries Res* 32, 351–356 (1998).
- Angmar B, Carlstrom D, Glas JE: Studies on the ultrastructure of dental enamel. IV. The mineralization of normal human enamel. *J Ultrastruct Res* 8, 12–23 (1963).
- Angnes V, Angnes G, Batistella M, Grande RHM, Loguercio AD, Reis A: Clinical effectiveness of laser fluorescence, visual inspection and radiography in the detection of occlusal caries. *Caries Res* 39, 490–495 (2005).
- Bader JD, a Shugars D, Bonito AJ: Systematic Reviews of Selected Dental Caries Diagnostic and Management Methods. *J Dent Educ* 65, 960–968 (2001).
- Bader JD, Shugars DA: A systematic review of the performance of a laser fluorescence device for detecting caries. *J Am Dent Assoc* 135, 1413–1426 (2004).
- Bakhshandeh A, Ekstrand KR, Qvist V: Measurement of histological and radiographic depth and width of occlusal caries lesions: a methodological study. *Caries Res* 45, 547–555 (2011).
- Benson PE, Shah AA, Willmot DR: Polarized versus nonpolarized digital images for the measurement of demineralization surrounding orthodontic brackets. *Angle Orthod* 78, 288–293 (2008).
- Black G: A plea for greater earnestness in the study of caries of the enamel in its relation to the practice of dentistry. *Dent Brief* 15, 161–178 (1910).
- Bottenberg P, Schulte A: The Histologic Gold Standard in Caries Research: A Literature Review. 58th Annual ORCA Congress, 189 (2011).
- Bowen WH, Koo H: Biology of *Streptococcus mutans*-Derived Glucosyltransferases: Role in Extracellular Matrix Formation of Cariogenic Biofilms. *Caries Res* 45, 69–86 (2011).

- Braga MM, Oliveira LB, Bonini GAVC, Bönecker M, Mendes FM: Feasibility of the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) in epidemiological surveys and comparability with standard World Health Organization criteria. *Caries Res* 43, 245–249 (2009).
- Braga MM, Mendes FM, Martignon S, Ricketts DNJ, Ekstrand KR: In vitro comparison of Nyvad's system and ICDAS-II with Lesion Activity Assessment for evaluation of severity and activity of occlusal caries lesions in primary teeth. *Caries Res* 43, 405–412 (2009).
- Braga MM, Mendes FM, Ekstrand KR: Detection activity assessment and diagnosis of dental caries lesions. *Dent Clin North Am* 54, 479–493 (2010).
- Bratthall D, Petersen PE, Stjernswärd JR, Brown LJ: Disease Control Priorities in developing Countries. The World Bank and Oxford University Press (2006).
- Brauckhoff G, Kocher PDT, Holtfreter DB, Bernhardt PDO, Splieth PDC, Biffar PDR, Saß DA: Mundgesundheits- Gesundheitsberichterstattung Themenhefte 47. Techn. Ber., Robert Koch-Institut in Zusammenarbeit mit dem Statistischen Bundesamt (2009).
- Buchalla W, Attin T, Niedmann Y, Niedmann P, Lennon A: Porphyrins are the cause of red fluorescence of carious dentine: Verified by gradient reversed-phase HPLC. 55th ORCA Congress, 223 (2008).
- Catalanotto FA, Gaulin-Kremer E, Shaw JL: Sucrose taste functions and dental caries in children. *J Dent Res* 58, 1327–1332 (1979).
- Chen SK, Hollender L: Digitizing of radiographs with a flatbed scanner. *J Dent* 23, 205–208 (1995).
- Chiu HL, Lin SH, Chen CH, Wang WC, Chen JY, Chen YK, Lin LM: Analysis of photostimulable phosphor plate image artifacts in an oral and maxillofacial radiology department. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 106, 749–756 (2008).
- Chu CH, Lo ECM, You DSH: Clinical diagnosis of fissure caries with conventional and laser-induced fluorescence techniques. *Lasers Med Sci* 25, 355–362 (2010).
- Cicchetti D, Allison T: A New Procedure for Assessing Reliability of Scoring EEG Sleep Recordings. *Am J EEG Technol* 11, 101–109 (1971).
- Cochran JA, Ketley CE, Sanches L, Mamai-Homata E, Oila AM, Arnadóttir IB, van Loveren C, Whelton HP, O'Mullane DM: A standardized photographic method for evaluating enamel opacities including fluorosis. *Community Dent Oral Epidemiol* 32 Suppl 1, 19–27 (2004).

- Cochrane N, Walker G, Manton D, Reynolds E: Comparison of quantitative light-induced fluorescence, digital photography and transverse microradiography for quantification of enamel remineralization. *Aust Dent J* 57, 271–276 (2012).
- Cohen J: A coefficient of agreement for nominal scales. *EPM* 20, 37–46 (1960).
- Cohen J: A Power Primer. *Psychol Bull* 112, 155–159 (1992).
- Cook SL, Martinez-Mier EA, Dean JA, Weddell JA, Sanders BJ, Eggertsson H, Ofner S, Yoder K: Dental Caries experience and association to risk indicators of remote rural population. *International Journal of Paediatric Dentistry* 18, 275–283 (2008).
- Côrtes DF, Ekstrand KR, Elias-Boneta AR, Ellwood RP: An in vitro comparison of the ability of fibre-optic transillumination, visual inspection and radiographs to detect occlusal caries and evaluate lesion depth. *Caries Res* 34, 443–447 (2000).
- Côrtes DF, Ellwood RP, Ekstrand KR: An in vitro comparison of a combined FOTI/visual examination of occlusal caries with other caries diagnostic methods and the effect of stain on their diagnostic performance. *Caries Res* 37, 8–16 (2003).
- de Benedetto MS, Morais CC, Novaes TF, de Almeida Rodrigues J, Braga MM, Mendes FM: Comparing the reliability of a new fluorescence camera with conventional laser fluorescence devices in detecting caries lesions in occlusal and smooth surfaces of primary teeth. *Lasers Med Sci* 26, 157–162 (2011).
- Diniz MB, Rodrigues JA, Hug I, Cordeiro RCL, Lussi A: The influence of pit and fissure sealants on infrared fluorescence measurements. *Caries Res* 42, 328–333 (2008).
- Diniz MB, Rodrigues JA, Hug I, de Cássia Loiola Cordeiro R, Lussi A: Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for occlusal caries detection. *Community Dent Oral Epidemiol* 37, 399–404 (2009).
- Diniz MB, Sciasci P, Rodrigues JA, Lussi A, Cordeiro RCL: Influence of different professional prophylactic methods on fluorescence measurements for detection of occlusal caries. *Caries Res* 45, 264–268 (2011).
- Diniz MB, Lima LM, Eckert G, Zandona AGF, Cordeiro RCL, Pinto LS: In vitro evaluation of ICDAS and radiographic examination of occlusal surfaces and their association with treatment decisions. *Oper Dent* 36, 133–142 (2011).
- Diniz MB, Boldieri T, Rodrigues JA, Santos-Pinto L, Lussi A, Cordeiro RCL: The performance of conventional and fluorescence-based methods for occlusal caries detection: an in vivo study with histologic validation. *J Am Dent Assoc* 143, 339–350 (2012).

- Downer MC: Concurrent validity of an epidemiological diagnostic system for caries with the histological appearance of extracted teeth as validating criterion. *Caries Res* 9, 231–246 (1975).
- Eberhart J, Frentzen M, Thoms M: Neue optische Methoden zur Kariesdetektion- Fluoreszenzbasierte Verfahren zur Erkennung nichtkavierter Läsionen. *ZWR* 116, 148–156 (2007).
- Einwag, Pieper: PDZ-Kinderzahnheilkunde. Urban & Fischer Verlag München (2002).
- Ekstrand KR, Qvist V, Thylstrup A: Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. *Caries Res* 21, 368–374 (1987).
- Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA: Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries Res* 31, 224–231 (1997).
- Ekstrand KR, Ricketts DNJ, Kidd EAM, and S Schou VQ: Detection, diagnosing, Monitoring and Logical Treatment of Occlusal Ca in Relation to Lesion Activity and Severity: An in-vivo Examination with Histological Validation. *Caries Res* 32, 247–254 (1998).
- Emilson CG, Krasse B: Support for and implications of the specific plaque hypothesis. *Scand J Dent Res* 93, 96–104 (1985).
- Fejerskov O: Changing paradigms in concepts on dental caries: consequences for oral health care. *Caries Res* 38, 182–191 (2004).
- Francescut P, Zimmerli B, Lussi A: Influence of different storage methods on laser fluorescence values: a two-year study. *Caries Res* 40, 181–185 (2006).
- Fyffe HE, Deery C, Nugent ZJ, Nuttall NM, Pitts NB: In vitro validity of the Dundee Selectable Threshold Method for caries diagnosis (DSTM). *Community Dent Oral Epidemiol* 28, 52–58 (2000).
- Gassmann M, Grenacher B, Rohde B, Vogel J: Quantifying Western blots: pitfalls of densitometry. *Electrophoresis* 30, 1845–1855 (2009).
- Gmür R, Giertsen E, van der Veen MH, de Josselin de Jong E, ten Cate JM, Guggenheim B: In vitro quantitative light-induced fluorescence to measure changes in enamel mineralization. *Clin Oral Investig* 10, 187–195 (2006).
- González-Cabezas C, Fontana M, Dunipace AJ, Li Y, Fischer GM, Proskin HM, Stookey GK: Measurement of enamel remineralization using microradiography and confocal microscopy. A correlational study. *Caries Res* 32, 385–392 (1998).

- Heinrich-Weltzien R, Senkel H, Tietze W, Stößer L: Prevalence and distribution of caries in 12-year-olds in two German areas. *Caries Res* 31, 293 (1997).
- Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Oehme T, Weerheijm K, Stößer L: Okklusalkaries- Diagnostik - Ein Vergleich von DIAGNOdent mit konventionellen Methoden. *Oralprophylaxe* 25, 77–80 (2003).
- Heinrich-Weltzien R, Haak R, Buchalla W, Kühnisch J: Kariesdiagnostik - Eine Herausforderung für den Zahnarzt? *ZWR* 117, 160–168 (2008).
- Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung, Bd. 3. Auflage. Urban & Fischer Verlag München (2009).
- Hintze H, Wenzel A, Jones C: In vitro comparison of D- and E-speed film radiography, RVG, and visualix digital radiography for the detection of enamel approximal and dental occlusal caries lesions. *Caries Res* 28, 363–367 (1994).
- Huysmans MCDNJM, Longbottom C: The challenges of validating diagnostic methods and selecting appropriate gold standards. *J Dent Res* 83 Spec No C, C48–C52 (2004).
- ICDAS Coordinating Committee (Hg.): International Caries Detection and Assessment System (ICDAS II). International Caries Detection and Assessment System Coordinating Committee (2005).
- Ifland S, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R: Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF)- Eine nichtinvasive Methode zur Kariesdiagnostik. *ZWR* 113, 254–258 (2004).
- Iijima Y: Early detection of white spot lesions with digital camera and remineralization therapy. *Aust Dent J* 53, 274–280 (2008).
- Ilgüy M, Dinçer S, Ilgüy D, Bayirli G: Detection of artificial occlusal caries in a phosphor imaging plate system with two types of LCD monitors versus three different films. *J Digit Imaging* 22, 242–249 (2009).
- Ismail AI: Visual and visuo-tactile detection of dental caries. *J Dent Res* 83 Spec No C, C56–C66 (2004).
- Ismail AI: Diagnostic levels in dental public health planning. *Caries Res* 38, 199–203 (2004).
- Ismail AI, Sohn W, Tellez M, Amaya A, Sen A, Hasson H, Pitts NB: The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS): an integrated system for measuring dental caries. *Community Dent Oral Epidemiol* 35, 170–178 (2007).

- Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts DN, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res* 42, 79–87 (2008a).
- Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts DN, Heinzl-Gutenbrunner M, Stoll R, Pieper K: Validierung des ICDAS-II zur Diagnose der Fissurenkaries- eine In-vitro-Studie mittels Oberflächeninspektion und Histologie. *DZZ* 63, 343–349 (2008b).
- Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Stachniss V, Maschka R, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Occlusal caries: Evaluation of direct microscopy versus digital imaging used for two histological classification systems. *J Dent* 37, 204–211 (2009).
- Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Weber K, Ziomek O, Heinzl-Gutenbrunner M, Schipper HM, Stoll R, Pieper K: Effect of different time intervals between examinations on the reproducibility of ICDAS-II for occlusal caries. *Caries Res* 44, 267–271 (2010).
- Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Rolfsen S, Stoll R, Heinzl-Gutenbrunner M, Stachniss V, Pieper K: Performance of laser fluorescence at tooth surface and histological section. *Lasers Med Sci* 26, 171–178 (2011).
- Jablonski-Momeni A, Schipper HM, Rosen SM, Heinzl-Gutenbrunner M, Roggendorf MJ, Stoll R, Stachniss V, Pieper K: Performance of a fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro. *Odontology* 99, 55–61 (2011).
- Jablonski-Momeni A, Stachniss V: Microscopy: Science, Technology, Applications and Education, Kap. Serial sectioning of teeth and microscopy in cariology research, 785–791. Formatex Research Center, Badajoz, Spain (2011).
- Jablonski-Momeni A, Stucke J, Steinberg T, Heinzl-Gutenbrunner M: Use of ICDAS-II, Fluorescence-Based Methods, and Radiography in Detection and Treatment Decision of Occlusal Caries Lesions: An In Vitro Study. *International Journal of Dentistry* 1–8 (2012).
- Jablonski-Momeni A, Liebegall F, Stoll R, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Performance of a new fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro. *Lasers Med Sci* (2012).
- Jacobsen JH, Hansen B, Wenzel A, Hintze H: Relationship between histological and radiographic caries lesion depth measured in images from four digital radiography systems. *Caries Res* 38, 34–38 (2004).
- Janhom A, van der Stelt PF, Sanderink GCH: A comparison of two compression algorithms and the detection of caries. *Dentomaxillofac Radiol* 31, 257–263 (2002).

- Kalinski T, Zwönitzer R, Grabellus F, Sheu SY, Sel S, Hofmann H, Roessner A: Loss-less compression of JPEG2000 whole slide images is not required for diagnostic virtual microscopy. *Am J Clin Pathol* 136, 889–895 (2011).
- Kühnisch J, Haak R, Buchalla W, Heinrich-Weltzien R: Kariesdetektion und -diagnostik bei Kindern und Jugendlichen. *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde* 29, 166–171 (2007).
- Kühnisch J, Goddon I, Berger S, Senkel H, Bücher K, Oehme T, Hickel R, Heinrich-Weltzien R: Development, methodology and potential of the new Universal Visual Scoring System (UniViSS) for caries detection and diagnosis. *Int J Environ Res Public Health* 6, 2500–2509 (2009).
- Kühnisch J, Reichl PDFX, Heinrich-Weltzien PDR, Hickel PDR: Leitlinie Fissuren- und Grübchenversiegelung - Langfassung -. *Techn. Ber.* (2010).
- Kidd EAM, Banerjee A, Ferrier S, Longbottom C, Nugent Z: Relationships between a clinical-visual scoring system and two histological techniques: a laboratory study on occlusal and approximal carious lesions. *Caries Res* 37, 125–129 (2003).
- Klimm W: Kariologie- Ein Leitfaden für Studierende und Zahnärzte. Carl Hanser Verlag, München, Wien (1997).
- König K, Flemming G, Hibst R: Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)* 44, 1293–1300 (1998).
- Kreter F, Pantke H: Einführung in die Zahnheilkunde mit Grenzinformationen. Quintessenz-Verlag, Berlin. (1979).
- Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33, 159–174 (1977).
- Lazarchik DA, Firestone AR, Heaven TJ, Filler SJ, Lussi A: Radiographic evaluation of occlusal caries: effect of training and experience. *Caries Res* 29, 355–358 (1995).
- Lima K, Coelho L, Pinheiro I, Rocas I, Siqueira J: Microbiota of Dentinal Caries as Assessed by Reverse-Capture Checkerboard Analysis. *Caries Res* 45, 21–30 (2011).
- Lin BPJ: Caries experience in children with various genetic sensitivity levels to the bitter taste of 6-n-propylthiouracil (PROP): a pilot study. *Pediatr Dent* 25, 37–42 (2003).
- Lussi A: Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Res* 27, 409–416 (1993).
- Lussi A, Schaffner M: Diagnose und Therapie der Karies. *Schweiz Med Forum* 8, 166–170 (2002).

- Lussi A, Francescut P: Performance of conventional and new methods for the detection of occlusal caries in deciduous teeth. *Caries Res* 37, 2–7 (2003).
- Lussi A, Reich E: The influence of toothpastes and prophylaxis pastes on fluorescence measurements for caries detection in vitro. *Eur J Oral Sci* 113, 141–144 (2005).
- Lussi A, Hellwig E: Performance of a new laser fluorescence device for the detection of occlusal caries in vitro. *J Dent* 34, 467–471 (2006).
- Matos R, Novaes TF, Braga MM, Siqueira WL, Duarte DA, Mendes FM: Clinical performance of two fluorescence-based methods in detecting occlusal caries lesions in primary teeth. *Caries Res* 45, 294–302 (2011).
- Mendes FM, Hissadomi M, Imparato JCP: Effects of drying time and the presence of plaque on the in vitro performance of laser fluorescence in occlusal caries of primary teeth. *Caries Res* 38, 104–108 (2004).
- Mendes FM, Braga MM, Oliveira LB, Antunes JLF, Ardenghi TM, Bönecker M: Discriminant validity of the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) and comparability with World Health Organization criteria in a cross-sectional study. *Community Dent Oral Epidemiol* 38, 398–407 (2010).
- Mitropoulos P, Rahiotis C, Stamatakis H, Kakaboura A: Diagnostic performance of the visual caries classification system ICDAS II versus radiography and micro-computed tomography for proximal caries detection: an in vitro study. *J Dent* 38, 859–867 (2010).
- Molnar B, Berczi L, Diczhazy C, Tagscherer A, Varga SV, Szende B, Tulassay Z: Digital slide and virtual microscopy based routine and telepathology evaluation of routine gastrointestinal biopsy specimens. *J Clin Pathol* 56, 433–438 (2003).
- Nielsen PS, Lindebjerg J, Rasmussen J, Starklint H, Waldstrøm M, Nielsen B: Virtual microscopy: an evaluation of its validity and diagnostic performance in routine histologic diagnosis of skin tumors. *Hum Pathol* 41, 1770–1776 (2010).
- Nyvad B, Machiulskiene V, Baelum V: Reliability of a new caries diagnostic system differentiating between active and inactive caries lesions. *Caries Res* 33, 252–260 (1999).
- Paris S, Bitter K, Renz H, Hopfenmuller W, Meyer-Lueckel H: Validation of two dual fluorescence techniques for confocal microscopic visualization of resin penetration into enamel caries lesions. *Microsc Res Tech* 72, 489–494 (2009).
- Penning C, van Amerongen JP, Seef RE, ten Cate JM: Validity of probing for fissure caries diagnosis. *Caries Res* 26, 445–449 (1992).

- Peterson PE: The World Oral Health Report 2003: continuous improvement of oral health in the 21st century- the approach of the WHO Global Oral Health Programme. *Commun Dent Oral Epidemiol* 31, 3–24 (2003).
- Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2004. Techn. Ber., Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e.V. (DAJ) (2005).
- Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2009 Gutachten. Techn. Ber., Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e.V. (DAJ) (2010).
- Pine CM, ten Bosch JJ: Dynamics of and diagnostic methods for detecting small carious lesions. *Caries Res* 30, 381–388 (1996).
- Pitts NB, Fyffe HE, Nugent ZJ, Deery C, Ricketts DJN: Histological Validation of Caries Diagnosis - Intra- and Inter Assessor Variation and its Implications. 48th Annual ORCA Congress, Bd. 35, 278–279 (2001).
- Pitts NB: ICDAS – an international system for caries detection and assessment being developed to facilitate caries epidemiology, research and appropriate clinical management. *Commun Dent Health* 21, 193–198 (2004).
- Poulton R, Caspi A, Milne B, et al: Association between children’s experience of socioeconomic disadvantage and adult health: a life-course study. *Lancet* 360, 1640–1645 (2002).
- Pschyrembel: Pschyrembel Klinisches Wörterbuch, Bd. 259. de Gruyter (2002).
- R Development Core Team: R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0 (2012).
- Reis A, Mendes FM, Angnes V, Angnes G, Grande RHM, Loguercio AD: Performance of methods of occlusal caries detection in permanent teeth under clinical and laboratory conditions. *J Dent* 34, 89–96 (2006).
- Reisine ST, Psoter W: Socioeconomic status and selected behavioral determinants as risk factors for dental caries. *J Dent Educ* 65, 1009–1016 (2001).
- Ricketts DN, Kidd EA, Smith B, Wilson R: Radiographic detection of occlusal caries: effect of X-ray beam factors on diagnosis. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2, 149–154 (1994).
- Ricketts DN, Kidd EA, Beighton D: Operative and microbiological validation of visual, radiographic and electronic diagnosis of occlusal caries in non-cavitated teeth judged to be in need of operative care. *Br Dent J* 179, 214–220 (1995).

- Ricketts DN, Watson TF, Liepins PJ, Kidd EA: A comparison of two histological validating techniques for occlusal caries. *J Dent* 26, 89–96 (1998).
- Ricketts DN, Ekstrand KR, Kidd EAM, Larsen T: Relating visual and radiographic ranked scoring systems for occlusal caries detection to histological and microbiological evidence. *Oper Dent* 27, 231–237 (2002).
- Rodrigues JA, Hug I, Diniz MB, Lussi A: Performance of fluorescence methods, radiographic examination and ICDAS II on occlusal surfaces in vitro. *Caries Res* 42, 297–304 (2008).
- Rodrigues JA, Diniz MB, Josgrilberg EB, Cordeiro RCL: In vitro comparison of laser fluorescence performance with visual examination for detection of occlusal caries in permanent and primary molars. *Lasers Med Sci* 24, 501–506 (2009).
- Rupesh S, Nayak UA: Genetic sensitivity to the bitter taste of 6-n propylthiouracil: a new risk determinant for dental caries in children. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 24, 63–68 (2006).
- Schiffner PDU, Jordan DRA, Micheelis DW: Wissenschaftliche Mitteilung zu Zielen und Methoden der epidemiologischen Erfassung oraler Erkrankungen. Arbeitskreis Epidemiologie und Public Health (AKEPH) der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) (2010).
- Schneiderman A, Elbaum M, Shultz T, Keem S, Greenebaum M, Driller J: Assessment of dental caries with Digital Imaging Fiber-Optic Transillumination (DIFOTI): in vitro study. *Caries Res* 31, 103–110 (1997).
- Schroeder H: Pathobiologie oraler Strukturen: Zähne, Pulpa, Parodont. 3., überarbeitete Auflage. Karger (1997).
- Schroeder H: Orale Strukturbilogie- Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks, Bd. 5. unveränderte Auflage. Georg Thieme Verlag Stuttgart (2000).
- Schulze RKW, Grimm S, Schulze D, Voss K, Keller HP, Wedel M: Diagnostic yield of ink-jet prints from digital radiographs for the assessment of approximal carious lesions: ROC-analysis. *Eur J Radiol* 79, 277–282 (2011).
- Selwitz RH, Ismail AI, Pitts NB: Dental caries. *Lancet* 369, 51–59 (2007).
- Shi XQ, Tranaeus S, Angmar-Månsson B: Comparison of QLF and DIAGNOdent for quantification of smooth surface caries. *Caries Res* 35, 21–26 (2001).

- Souza-Zaroni WC, Ciccone JC, Souza-Gabriel AE, Ramos RP, Corona SAM, Palma-Dibb RG: Validity and reproducibility of different combinations of methods for occlusal caries detection: an in vitro comparison. *Caries Res* 40, 194–201 (2006).
- Spearman C: The Proof and Measurement of Association between Two Things. *Am J Psychol* 15, pp. 72–101 (1904).
- Spearman C: The Proof and Measurement of Association between Two Things. *Am J Psychol* 100, pp. 441–471 (1987).
- Stachniss V: Zur Hartschnitt-Technik nicht entkalkter Zähne und digitale makrofotografische Reproduktion histologischer Präparate. Projektbericht zum Forschungsfreisemester SS 2005. Techn. Ber., Universität Marburg (2005).
- Stachniss V, Schwarzbach H: Hartschnitt/ Schliffpräparate von Zähnen für Endodontie & digitale Makro- Repros. *ZWR - Das Deutsche Zahnärzteblatt* 118 (10), 476–483 (2009).
- Stassinakis A, Brägger U, Stojanovic M, Bürgin W, Lussi A, Lang NP: Accuracy in detecting bone lesions in vitro with conventional and subtracted direct digital imaging. *Dentomaxillofac Radiol* 24, 232–237 (1995).
- Steininger B, Schwarzbach H, Stachniss V: Mikroskopische Anatomie der Zähne und des Parodonts. Georg Thieme Verlag KG Stuttgart (2010).
- Takahashi N, Nyvad B: The role of bacteria in the caries process: ecological perspectives. *J Dent Res* 90, 294–303 (2011).
- ten Cate JM: Remineralization of caries lesions extending into dentin. *J Dent Res* 80, 1407–1411 (2001).
- Thewlis J: The X-ray Examination of Enamel. *Proceedings of the Royal Society of Medicine* 33, 387–398 (1940).
- Thomas RZ, Ruben JL, de Vries J, ten Bosch JJ, Huysmans MCDNJM: Transversal wavelength-independent microradiography, a method for monitoring caries lesions over time, validated with transversal microradiography. *Caries Res* 40, 281–291 (2006).
- van Amerongen JP, Penning C, Kidd EA, ten Cate JM: An in vitro assessment of the extent of caries under small occlusal cavities. *Caries Res* 26, 89–93 (1992).
- von Bohlen, Halbach O, Dermietzel R: Methoden der Neurohistologie. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg (1999).
- Weiß C: Basiswissen Medizinische Statistik, Bd. 4., überarb. Aufl. Springer Medizin Verlag Heidelberg (2008).

- Wendell S, Wang X, Brown M, Cooper ME, DeSensi RS, Weyant RJ, Crout R, McNeil DW, Marazita ML: Taste genes associated with dental caries. *J Dent Res* 89, 1198–1202 (2010).
- Wenzel A, Fejerskov O, Kidd E, Joyston-Bechal S, Groeneveld A: Depth of occlusal caries assessed clinically, by conventional film radiographs, and by digitized, processed radiographs. *Caries Res* 24, 327–333 (1990).
- Wenzel A, Larsen MJ, Fejerskov O: Detection of occlusal caries without cavitation by visual inspection, film radiographs, xeroradiographs, and digitized radiographs. *Caries Res* 25, 365–371 (1991).
- Wenzel A, Verdonchot EH, Truin GJ, König KG: Accuracy of visual inspection, fiber-optic transillumination, and various radiographic image modalities for the detection of occlusal caries in extracted non-cavitated teeth. *J Dent Res* 71, 1934–1937 (1992).
- Wenzel A, Hintze H: Perception of image quality in direct digital radiography after application of various image treatment filters for detectability of dental disease. *Dentomaxillofac Radiol* 22, 131–134 (1993).
- Wenzel A: Digital radiography and caries diagnosis. *Dentomaxillofac Radiol* 27, 3–11 (1998).
- WHO: Oral Health Surveys Basic methods. WHO Geneva, 4. Aufl. (1997).
- Wright J: Defining the Contribution of Genetics in the Etiology of Dental Caries. *J Dent Res* 89, 1173–1174 (2010).
- Xavier CRG, Araujo-Pires AC, Poleti ML, Rubira-Bullen IRF, Ferreira O, Capellozza ALA: Evaluation of proximal caries in images resulting from different modes of radiographic digitalization. *Dentomaxillofac Radiol* 40, 338–343 (2011).
- Zandoná AGF, Analoui M, Beiswanger BB, Isaacs RL, Kafrawy AH, Eckert GJ, Stookey GK: An in vitro comparison between laser fluorescence and visual examination for detection of demineralization in occlusal pits and fissures. *Caries Res* 32, 210–218 (1998).
- Ziller S, Micheelis W, Oesterreich D, Reich E: Goals for oral health in Germany 2020. *Int Dent J* 56, 29–32 (2006).

A Abbildungsverzeichnis

2.1	Faktoren für die Entstehung einer Karies (modifiziert nach der Vorlage von Fejerskov und Manji (1990) (Selwitz et al., 2007))	13
2.2	Mittlerer Kariesbefall bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland im Zeitverlauf von 1994 bis 2009, modifiziert nach Pieper (2010), (k.A. = keine Angaben)	18
4.1	Studiendesign	33
4.2	Okklusalfäche eines Zahnes mit entsprechenden Glasmaßstäben und Miniaturstahlkugel	37
4.3	Okklusalfäche eines Zahnes vor der histologischen Aufbereitung	42
4.4	Schnittserie des Zahnes aus Abbildung 4.3	42
4.5	Schneiden der Präparate mit der Diamantbandsäge	43
4.6	Schematische Darstellung der Lage des blauen Dreiecks und Zuordnung von Zahnhartschnitten zur Zahnebene	44
4.7	Digitalfotografische Reproduktion und Image Processing der Hartschnitte	45
4.8	Beispiele kariöser Läsionen am Röntgenbild	46
4.9	Beispiele kariöser Läsionen am histologischen Präparat, ausgewertet nach Downer	47
4.10	Beispiele kariöser Läsionen am histologischen Präparat, ausgewertet nach Ekstrand et al.	48
4.11	Untersuchung der Hartschnitte unter dem Auflichtmakroskop	49
5.1	Kariesstufenverteilung der visuellen Diagnostik des Konsens der vier Primäruntersucher jeweils mit Anzahl (n) und Prozentangabe	52
5.2	95% Konfidenzintervall (KI) der gewichteten Kappa-Werte der einzelnen Verfahren für Untersucher A und B	68
5.3	95% Konfidenzintervall (KI) der ungewichteten Kappa-Werte der einzelnen Verfahren für Untersucher A und B	68
5.4	95% Konfidenzintervall (KI) der gewichteten und ungewichteten Kappa-Werte der einzelnen Verfahren für Untersucher A versus B	69

B Tabellenverzeichnis

2.1	Unterschiede im Fissurenrelief (Schroeder, 2000)	11
2.2	Merkmale der Schmelzkarieszonen (Klimm, 1997; Schroeder, 1997) . .	15
2.3	Übersicht aktueller Studien zur Validierung des ICDAS-II Systems . .	21
2.4	Übersicht aktueller Studien zur Reproduzierbarkeit des ICDAS-II an okklusalen Zahnflächen (* = ungewichteter Kappa-Wert)	21
2.5	Kariesdetektionsverfahren	22
4.1	Anzahl (n) der Messpunkte in Bezug pro Okklusalfäche	35
4.2	Übersicht der durchgeführten Untersuchungen der an der Studie be- teiligten Untersucher	35
4.3	Kriterien des ICDAS-II für die Diagnose der Okklusalkaries (ICDAS Coordinating Committee, 2005)	36
4.4	Arbeitsschritte der Hartschnitt-Technik nicht entkalkter Zähne	41
4.5	Eigenschaften des eingebetteten Messdreiecks	43
4.6	geometrische Berechnung der Schnittebenenlage über der Montage- fläche für die exakte Zuordnung der zu befundenden Messpunkte . . .	43
4.7	Radiologische Klassifikation kariöser Läsionen nach Ekstrand et al. . .	46
4.8	Kriterien der histologischen Untersuchung	47
4.9	Einteilung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Ricketts et al. (1998)	50
4.10	Einteilung der Kappa-Werte nach Landis und Koch (1977)	51
4.11	Definition der Effektstärke (Cohens d)	51
5.1	Verteilung visuelle und analoge röntgenologische Befunde für Unter- sucher A (Rö_ana_A) (Index nach Ekstrand et al.)	53
5.2	Verteilung visuelle und analoge röntgenologische Befunde für Unter- sucher B (Rö_ana_B) (Index nach Ekstrand et al.)	53
5.3	Verteilung visuelle und digitale röntgenologische Befunde für Unter- sucher A (Rö_digi_A) (Index nach Ekstrand et al.)	54
5.4	Verteilung visuelle und digitale röntgenologische Befunde für Unter- sucher B (Rö_digi_B) (Index nach Ekstrand et al.)	55
5.5	Verteilung visuelle und analog digitale röntgenologische Befunde für Untersucher A (Rö_andi_A) (Index nach Ekstrand et al.)	56
5.6	Verteilung visuelle und analog digitale röntgenologische Befunde für Untersucher B (Rö_andi_B) (Index nach Ekstrand et al.)	56
5.7	Verteilung visuelle Bewertung und histologische Befunde am Makro- skop nach Downer (1975) für Untersucher A (Hist_Ma_Downer_A) . .	57
5.8	Verteilung visuelle Bewertung und histologische Befunde am Makro- skop nach Downer (1975) für Untersucher B (Hist_Ma_Downer_B) . .	58

5.9	Verteilung visuelle Bewertung und histologische Befunde am Makroskop nach Ekstrand et al. (1997) für Untersucher A (Hist_Ma_ERK_A)	58
5.10	Verteilung visuelle Bewertung und histologische Befunde am Makroskop nach Ekstrand et al. (1997) für Untersucher B (Hist_Ma_ERK_B)	59
5.11	Verteilung visuelle Bewertung und Befunde der digitalisierten Histologie nach Downer (1975) für Untersucher A (Hist_Di_Downer_A)	60
5.12	Verteilung visuelle Bewertung und Befunde der digitalisierten Histologie nach Downer (1975) für Untersucher B (Hist_Di_Downer_B)	60
5.13	Verteilung visuelle Bewertung und Befunde der digitalisierten Histologie nach Ekstrand et al. (1997) für Untersucher A (Hist_Di_ERK_A)	61
5.14	Verteilung visuelle Bewertung und Befunde der digitalisierten Histologie nach Ekstrand et al. (1997) für Untersucher B (Hist_Di_ERK_B)	61
5.15	Kreuztabelle analoge Röntgenbefunde versus digitale Röntgenbefunde für Untersucher A und B, beurteilt nach Ekstrand et al.	62
5.16	Kreuztabelle analoge Röntgenbefunde versus analog digitale Befunde für Untersucher A und B, beurteilt nach Ekstrand et al.	63
5.17	Kreuztabelle digitale Röntgenbefunde versus analog digitale Befunde für Untersucher A und B, beurteilt nach Ekstrand et al.	63
5.18	Kreuztabelle histologische Befunde am Makroskop versus der am Monitor ermittelten Befunde der digitalisierten Histologie für Untersucher A und B, beurteilt nach Downer	64
5.19	Kreuztabelle histologische Befunde am Makroskop versus der am Monitor ermittelten Befunde der digitalisierten Histologie für Untersucher A und B, beurteilt nach Ekstrand et al.	64
5.20	Kreuztabelle histologische Befunde am Makroskop für Untersucher A und B, beurteilt nach Downer versus Ekstrand et al.	65
5.21	Kreuztabelle histologische Befunde am Bildschirm für Untersucher A und B, beurteilt nach Downer versus Ekstrand et al.	65
5.22	Spearman Werte der Untersucher und der Verfahren im Überblick	66
5.23	Übersicht der Intra-Untersucher Reliabilität (gewichteter und ungewichteter Kappa-Wert) und der Effektstärken für die beiden histologischen Verfahren, befundet nach den Kriterien nach Downer und nach Ekstrand et al.	67
5.24	Übersicht der Inter-Untersucher Reliabilität und der Effektstärken für die beiden histologischen Verfahren, befundet nach den Kriterien nach Downer und nach Ekstrand et al.	69
C.1	Material zur Lagerung und Reinigung der Zähne	102

C.2	Material für die Röntgenuntersuchung	102
C.3	Material für die Herstellung der Hartschnitte	102
C.4	Geräte zur Reinigung der Zähne	103
C.5	Geräte für die Röntgenuntersuchung	103
C.6	Geräte für die Herstellung und Befundung der Hartschnitte	103
C.7	Geräte für die Fotodokumentation und Bildbetrachtung	103

C Anhang

C.1 Materialliste

Tabelle C.1: Material zur Lagerung und Reinigung der Zähne

Material	Hersteller
Natriumbicarbonat Reinigungspulver	KaVo, Biberach
Super Polish	Kerr Hawe SA, Bioggio, Schweiz
Thymol krist. reinst	Merck, Darmstadt
Zircate Prophy Paste	Dentsply Detrey, Konstanz

Tabelle C.2: Material für die Röntgenuntersuchung

Materialien	Hersteller
Beauty Pink dental Wax	Moyco-Union Broach, über: Quality First International Limited, Großbritannien
Digora-Speicherfolien	Gendex, Hamburg
Kodak Insight IP-21 Einzelfilme	Kodak, Stuttgart
Miniaturstahlkugel	GRW, Würzburg
Sekundenkleber Pattex	Henkel, Düsseldorf

Tabelle C.3: Material für die Herstellung der Hartschnitte

Material	Hersteller
Acrylglas	Halbzeuge, Krüger, Hamburg
Alkohol 40%, 60%, 80%, 100%	Merck, Darmstadt
Carborundum Schleifpapier	Hermes, Hamburg
IbiClear PVC, 0,2 mm	Ibico, USA
Mineralgläschen	Menzel, Braunschweig
Technovit 7200 VLC	Heraeus Kulzer, Wehrheim
Technovit 7210 VLC	Heraeus Kulzer, Wehrheim

C.2 Geräteliste

Tabelle C.4: Geräte zur Reinigung der Zähne

Geräte	Hersteller
Miniaturn-Zahnreinigungsbürstchen	Pluradent, Offenbach
Prophyflex 2 2012	KaVo, Biberach
Sonicflex paro Nr. 60	KaVo, Biberach

Tabelle C.5: Geräte für die Röntgenuntersuchung

Geräte	Hersteller
Entwicklungsautomat AC 245L	Dürr-Dental, Bietigheim-Bissingen
Oralix 65	Phillips Gendex, Hamburg
Röntgenbetrachter	Dentsply, Rinn Co., Elgin, USA
Röntgenstrahler Oralix AC	Gendex, Hamburg
Scanner: Digora Optine	Gendex, Hamburg

Tabelle C.6: Geräte für die Herstellung und Befundung der Hartschnitte

Geräte	Hersteller
Diamantbandsäge	Exakt, Hamburg
Histolux	Kulzer Exakt, Hamburg
Stereo-Makroskop M420	Wild Heerbrugg AG, Schweiz

Tabelle C.7: Geräte für die Fotodokumentation und Bildbetrachtung

Geräte	Hersteller
Digitale Kamera: Canon EOS D 30	Brenner Foto Versand, Weiden
Glasmaßstab	Leitz, Wetzlar
18-Zoll-TFT-Farbmonitor: FlexScan L 768, Eizo	Avnet Technology Solutions, GmbH Nettetal

C.3 Befundbögen

ICDAS

Histologische Auswertung

- Histologische Präparate
- Digitale Aufnahmen

Zähne 001-110

Untersucher/in:

Datum der Untersuchung:

Nr. 1

Röntgenscore analog

Messpunkte

1

2

3

4

Nr. 3

Röntgenscore analog

Messpunkte

1

2

3

4

Nr. 4

Röntgenscore analog

Messpunkte

1

2

3

4

Nr. 5

Röntgenscore analog

Messpunkte

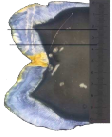
1

2

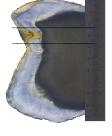
3

4

005/Ebene10



005/Ebene11



Zahn 5

Conventional histological classification system

ERK histological classification system

ICDAS

Messpunkt 1

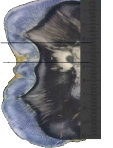
Ebenen

10

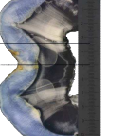
11

gesamt

016/Ebene6



016/Ebene7



Zahn 16

Conventional histological classification system

ERK histological classification system

ICDAS

Messpunkt 1

Ebenen

6

7

gesamt

<div>ICDAS</div> <div>Röntgenauswertung digitalisierte Analogbilder</div> <div>Zähne 1-110</div> <div>Untersucher/in:</div> <div>Datum der Untersuchung:</div> <div>Protokoll über die röntgenologische Auswertung</div>	<div>ICDAS</div> <div>Röntgenauswertung digital</div> <div>Zähne 1-110</div> <div>Untersucher/in:</div> <div>Datum der Untersuchung:</div> <div>Protokoll über die röntgenologische Auswertung</div>																																																																																																
<table><tr><td>Nr. 1</td><td>Röntgenscore digitalisierte Analogbilder</td></tr><tr><td>Messpunkte</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td></tr></table> <table><tr><td>Nr. 3</td><td>Röntgenscore digitalisierte Analogbilder</td></tr><tr><td>Messpunkte</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td></tr></table> <table><tr><td>Nr. 4</td><td>Röntgenscore digitalisierte Analogbilder</td></tr><tr><td>Messpunkte</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td></tr></table> <table><tr><td>Nr. 5</td><td>Röntgenscore digitalisierte Analogbilder</td></tr><tr><td>Messpunkte</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td></tr></table>	Nr. 1	Röntgenscore digitalisierte Analogbilder	Messpunkte		1		2		3		4		Nr. 3	Röntgenscore digitalisierte Analogbilder	Messpunkte		1		2		3		4		Nr. 4	Röntgenscore digitalisierte Analogbilder	Messpunkte		1		2		3		4		Nr. 5	Röntgenscore digitalisierte Analogbilder	Messpunkte		1		2		3		4		<table><tr><td>Nr. 1</td><td>Röntgenscore digital</td></tr><tr><td>Messpunkte</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td></tr></table> <table><tr><td>Nr. 3</td><td>Röntgenscore digital</td></tr><tr><td>Messpunkte</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td></tr></table> <table><tr><td>Nr. 4</td><td>Röntgenscore digital</td></tr><tr><td>Messpunkte</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td></tr></table> <table><tr><td>Nr. 5</td><td>Röntgenscore digital</td></tr><tr><td>Messpunkte</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td></tr></table>	Nr. 1	Röntgenscore digital	Messpunkte		1		2		3		4		Nr. 3	Röntgenscore digital	Messpunkte		1		2		3		4		Nr. 4	Röntgenscore digital	Messpunkte		1		2		3		4		Nr. 5	Röntgenscore digital	Messpunkte		1		2		3		4	
Nr. 1	Röntgenscore digitalisierte Analogbilder																																																																																																
Messpunkte																																																																																																	
1																																																																																																	
2																																																																																																	
3																																																																																																	
4																																																																																																	
Nr. 3	Röntgenscore digitalisierte Analogbilder																																																																																																
Messpunkte																																																																																																	
1																																																																																																	
2																																																																																																	
3																																																																																																	
4																																																																																																	
Nr. 4	Röntgenscore digitalisierte Analogbilder																																																																																																
Messpunkte																																																																																																	
1																																																																																																	
2																																																																																																	
3																																																																																																	
4																																																																																																	
Nr. 5	Röntgenscore digitalisierte Analogbilder																																																																																																
Messpunkte																																																																																																	
1																																																																																																	
2																																																																																																	
3																																																																																																	
4																																																																																																	
Nr. 1	Röntgenscore digital																																																																																																
Messpunkte																																																																																																	
1																																																																																																	
2																																																																																																	
3																																																																																																	
4																																																																																																	
Nr. 3	Röntgenscore digital																																																																																																
Messpunkte																																																																																																	
1																																																																																																	
2																																																																																																	
3																																																																																																	
4																																																																																																	
Nr. 4	Röntgenscore digital																																																																																																
Messpunkte																																																																																																	
1																																																																																																	
2																																																																																																	
3																																																																																																	
4																																																																																																	
Nr. 5	Röntgenscore digital																																																																																																
Messpunkte																																																																																																	
1																																																																																																	
2																																																																																																	
3																																																																																																	
4																																																																																																	

C.4 Schneideprotokolle

Patient/in Aufbehalterfeld <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>	überweisender Behandler <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>	Zahn # <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>	Datum = Probennummer P# 2005-MM-TT <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>	
Vorbehandlung Zustand nach: <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>	Extraktionsgrund <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>	Röntgen-Bilder: vor WF Datum nach WF <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> vor Extraktion <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> nach Extraktion <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>	digital/analog <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>	gewüschtes Format der (Standard) (groß / schneller) Objektträger 75x25x2 mm 100x50x2 mm
Zahnlänge im mm <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>	gewünschte Dicke der <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> Schnitte in Millimeter			

Entwässerungsreihe				Präinfiltration		Infiltration		Vorpolymerisation	
Alkohol %	40%	60%	80%	Alkohol/Technik	1:1	Technik	7200	UV-A-Licht	
Stunden soll	12	12	12	100%	12	36	min. 4 h		
Datum									
Stunden Ist									

Werkstoffe zur Einbettung Eiswasser Druck	Fa. Kulzer ZT-PMMA Polyester GH Technovit 7200	Fa. Voss Polystyrol Acryl-Zen- trier-Konus Acryl-Zen- trier-Konus	Formteile zur Einbettung 5 ml Spitze 10 ml Spitze
---	--	--	---

Vorschub zur Dreiteilung des Zahnes: ((Zahnlänge im mm minus 1mm) / 3) Vorschub zur seriell-parallelen Auftrennung in 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30 Schnittebenen	Vorschub V0 = in µm Vorschub V1 = in µm	V1 - Defaultwert für 200µm D64 Band 700 µm 100µm D46 Band 450 µm
---	--	--

Die Aufbereitung ausgeführt: Unterschrift + Datum	Frau Schäfer <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>	Frau Grimmelbein <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>	Prof. Stachniss <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>
---	---	---	--

Reprotechnik Name: digitale Makro-Repros: Zustand wie angeliefert Schnittebenen #: gespeichert wo: Pfad & Filename:	<div style="border: 1px solid black; height: 80px; width: 100%;"></div>
--	---

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	duplo-Schneideparameter 2x5-10-19.xls															
2	Schneideprotokoll für die Herstellung histologische Hantwettmittel/Schliffe															
3	Bandspezifische Parameter:															
4	Banddicke in µm	200	100	Projekt:												
5	Diamantierung D	65	46	Proben #:												
6	Vorschub in µm	420	290	Default-Werte												
7	berechnet aus Verlaufsparametern															
8	Algorithmus:															
9	Vorschub = Band-Verschneitt + Block-Handschniff + Präparat-Handschniff + Präparatdicke															
10	Beispiele in µm	10	680	420		65		45	150	(netto, d.h. ohne die 25 µm Klebeschicht)						
11				Vorschub		Schlitten-Zuggewicht										
12				Default-Wert:		50 gr (kleines)										
13				680 ± 20 µm		100 gr (großes)										
14																
15																
16	Datum	Schnitt	Spindelposi-	Vorschub	Spindelposi-	Bandge-	Basistafel mit Folie und	Block: Längs in mm	Block-	Präparat	Dicke I. µm	Präparat	Brutto-Dicke	Korrektur-	geses-	
17		Ebene	tion Startwert	(berechneter)	tion Zielwert	schwindigkeit	Block: Längs in mm	nach Schnitt	Verschleiß	nach	nach Hand-	Verschleiß	nach dem	Wert f.	sene	
18		#		in µm					in µm	Schnitt	Schnitt	in µm	m. 135µ Glas	Vorschub-	Länge	
19	Schrittdauer			Schritt f.										Zielwert	von	
20	in Minuten			Soll / Ist											ML	
21															in mm	
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																
41																
42																
43																
44																
																Seite 1

D Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Althaus, Aumüller, Austermann, Coca, Dibbets, Diek, Feuser, Flores de Jacobi, Gente, Gloerfeld, Hasilik, Holzheidt, Höffken, Jablonski-Momeni, Karoglan, Knitschke, Knüppel, Koolmann, Lehmann, Lill, Lotzmann, Mengel, Mittag, Neff, Nonnenmacher, Nötzel, Peleska, Plant, Pieper, Ramaswamy, Röhm, Rogausch, Schaudig, Schneider, Schulte, Schürmann, Sonntag, Stachniss, Stelzel, Stiletto, Stoll, Suske, Tschechne, Umstadt, Voigt, Wagner, Weihe, Wennemuth, Wenz, Werner, Westermann, Yüksel.

E Danksagung

Frau Prof. Dr. A. Jablonski-Momeni möchte ich herzlich danken für die Überlassung des interessanten Dissertationsthemas und die Betreuung während der Erstellung meiner Arbeit.

Darüber hinaus danke ich Herrn Prof. Dr. V. Stachniss und Frau Schäfer für die freundliche Unterstützung bei der Herstellung der histologischen Zahnhartschnitte.

Weiterhin danke ich Frau Dr. M. Heinzel-Gutenbrunner und Herrn R. Rottscholl für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse.

Ein großes Dankeschön an Frau Dipl.-Ing. M. Rottscholl und Herrn R. Rottscholl für die in hohem Maße kompetente Begleitung, für die sprachliche und grammatikalische Durchsicht und die hilfreichen Korrekturanregungen meiner Arbeit.

Frau Judith von Hinckeldey danke ich sehr für die sprachliche Durchsicht und für die gute Freundschaft.

Danke an alle, die an meine Fähigkeit zur Fertigstellung dieser Arbeit geglaubt haben und mich jahrelang Schritt für Schritt begleitet, motiviert, abgelenkt, aufgebaut, gedrängt und mich nicht aufgegeben haben. Ein herzliches Dankeschön an Jaqueline Gottschalk und ihre Familie. Besonderen Dank verdienen folgende ganz besondere Menschen: meine Großeltern, meine Eltern, meine Geschwister mit deren Familien, und vor allem mein persönlicher Motivationsmotor Robert.

Danke auch an alle Entwickler von LaTeX, an sedruck.de und an Chakotay.